

Conf. dr. S. Bainglass

FIZICĂ MEDICALĂ

EDITURA MEDICALĂ

Conf. dr. S. BAINGLASS

FIZICĂ MEDICALĂ



INTRODUCERE

I. FIZICA MEDICALĂ

Fizica studiază cele mai generale forme de mișcare a materiei, concepută ca o realitate obiectivă: mișcarea mecanică, termică, electromagnetică etc. Aceste forme de mișcare există și în procesele complexe, cum sînt cele biologice, este firesc ca fizica să se întâlnească cu biologia în studiul diferitelor fenomene naturale. De aceea, tot așa cum au devenit de sine stătătoare științe ca astrofizica, ce studiază fenomenele fizice din universul mare (macrocosmos), geofizica, care cuprinde studiile privind învelișurile pămîntului (pirosfera, litosfera, hidrosfera, atmosfera), fizica atomică, unde se studiază universul mic (microcosmos), tot astfel fenomenele fizice care se întîlnesc și se întretes cu cele de biologie în unul din cele mai importante și mai caracteristice domenii biologice, în medicină, sînt studiate în „fizica medicală“.

Fizica medicală cuprinde studiul și aplicarea legilor fizicii în biologie și medicină. Legătura fizicii cu arta și știința medicală datează din primele timpuri ale dezvoltării medicinei.

În istoria medicinei se găsesc foarte numeroase referiri la folosirea fenomenelor fizice și agenților fizici în prevenirea și vindecarea unor boli. Talasoterapia era cunoscută în antichitatea greco-romană. În țările din jurul Mediteranei (Egipt, Grecia, Asia-Mică etc.) și în coloniile de pe litoralul Mării Negre [Callatis (Mangalia), Tomis (Constanța) ș.a.] existau „arenaria“ (plaje de nisip) sau „heliosis“ (solarii) pentru băi de soare (helioterapie).

Tot în antichitate, în tratamentul anumitor boli, erau folosite descărcările electrice produse la atingerea peștilor electrici din familia silurienilor: torpila electrică, gimnoții și malapterurile, la care bioelectrogenza se datorește unui țesut muscular transformat, care produce un curent de acțiune de intensitate mare, în dauna însușirii de a efectua un lucru mecanic.

Primii ochelari, de formă apropiată celor actuali, au fost făcuți în secolul al XIII-lea de Roger Bacon (1214 — 1294). Bazat pe lucrarea „Tratatul de optică“ a lui Ptolemeu (secolul al II-lea) și pe lucrarea „Tezaurul de optică“ a medicului egiptean Alhazan (secolul al X-lea), Bacon a arătat că sticlele șlefuite în formă de calotă sferică aduc înlesniri la citit, atît prezbiților, cît și hipermetropilor.

Mihail Vasilievici Lomonosov (1711 — 1765), întemeietorul științei ruse, a studiat electricitatea atmosferică, legînd aceste lucrări de nevoia practică de a apăra pe om de efectul trăsnetului. Aceste cercetări ale lui Lomonosov au fost urmate de studii meteorologice: el a făcut observații meteorologice regulate și a propus construirea unei rețele de stațiuni meteorologice în diferitele regiuni ale țării sale. Lomonosov a construit aparate

meteorologice originale pentru măsurarea temperaturii aerului, a vitezei vântului etc., convins fiindcă cercetarea fenomenelor atmosferice va duce la posibilitatea de a prevedea vremea și va permite deci omului să se apere mai bine de intemperii și să-și pregătească mai bine muncile.

Dacă ne referim la rolul mecanicii în dezvoltarea medicinei și a studiilor legate de medicină: anatomia, fiziologia etc., trebuie să menționăm că Leonardo da Vinci (1452 — 1519), marele pictor, sculptor, arhitect și inginer al Renașterii italiene, care a fost și un mare anatomist și fiziolog al epocii sale, a studiat mecanica mersului și funcționarea mușchilor, înlocuind pe schelete mușchii cu arcuri elastice. În secolul al XVIII-lea, sub influența cugetării materialist-mecaniciste, școala *iatromecanică*, reprezentată prin medici celebri ca H. Boerhaave din Leyda (1668—1738) și F. Hoffmann din Halle (1660 — 1742), a dus atât de departe legătura dintre medicină și fizică, încât privea în mod nejust corpul uman ca o mașină, care funcționează numai după legile mecanice și termice.

În sprijinul igienei și sănătății publice, marii fizicieni și electrotehnicieni ruși din secolul al XIX-lea, Vasili Vladimirovici Petrov, P. N. Iablocikov și Al. Lodighin au realizat principiile și tehnica iluminatului electric, iar iluminatul fluorescent, lumina albă și rece, formă optimă de iluminare, se introduce acum și în țara noastră după principiile și tehnica stabilite de școala lui S. I. Vavilov.

Influența fizicii moderne asupra dezvoltării medicinei este demonstrată de numeroasele metode fizice și procedee fizice de cercetare, diagnostic, prevenire și tratament: termometrie, calorimetrie biologică, electroforeză, electrologie medicală, radiologie, radioterapie, mecanoterapie, spectroscopie, colorimetrie, fluoroscopie, electroacustică, radiații; toate acestea aduc principii fizice și mijloace tehnice în studiile și practica medicală.

Influența este reciprocă: dezvoltarea medicinei a dus în secolul trecut la numeroase lucrări în acustica generală, optică, radiologie etc., iar în ultimele decenii, la construirea unor aparate noi, bazate pe principii încă neaplicate în medicină, ca: microscopul electronic, ultrasunetele etc. În ultimii ani, rezultatele pozitive și perspectivele favorabile ale întrebuirii izotopilor radioactivi în medicină au constituit unul din stimulentele importante pentru avântul cercetărilor de fizică nucleară.

Aceste câteva exemple arată limpede că, în studiul medicinei, fizica are un rol important, că legătura dintre fizică și medicină este reciprocă și că aplicațiile fizicii în medicină, metodele, aparatele, studiul fenomenelor fizice din câmpul biologiei umane, justifică individualizarea și conturarea ramurii din fizică numită *fizică medicală*.

II. LEGILE FIZICII

Legile fizicii sînt legi obiective. Cercetătorul le descoperă și le aplică, dar nu le poate modifica; de multe ori, însă, această aplicare se poate face în mod mai avantajos. Astfel, omul nu poate întoarce cursul apei care curge la vale atrasă de forța gravitației; el poate însă folosi această lege fizică obiectivă așezînd în calea apei o turbină care să transforme energia hidrolică în energie electrică; putem obține pe această cale mari și însemnate înlesniri pentru viața economică și culturală.

Legile fizicii se stabilesc prin generalizarea datelor experimentale și sînt verificate prin faptul că concluziile lor corespund cu experiența; aceste legi sînt generale, pentru orice corp și pentru orice sistem de corpuri.



Astfel, legea gravitației se aplică tuturor corpurilor de pe pământ, oricare ar fi mărimea, structura sau compoziția lor. Legea gravitației universale, descoperită de Newton, se aplică tuturor corpurilor din univers. Legea conservării energiei, descoperită de Lomonosov, se aplică tuturor formelor de energie: calorică, electrică, luminoasă, mecanică etc.

III. MĂSURAREA MĂRIMILOR FIZICE

Pentru formularea legilor fizicii se cere stabilirea unor legături între diferitele fenomene fizice. Dacă exemplificăm concret cu legea atracției universale, care arată că între două corpuri foarte mici față de distanța dintre ele se exercită o forță de atracție direct proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele, această formulare cuprinde date calitative care reprezintă legătura dintre fenomene:

$$F = k \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2}$$

dar cere și stabilirea legăturii dintre mărimile celor două mase precum și mărimea distanței dintre ele.

Pentru a putea cunoaște aceste mărimi, ele trebuie măsurate. De precizia cu care vom face măsurătorile și de mărimea erorilor va depinde precizia formulării legii fizice.

Precizia măsurătorii depinde de nivelul de dezvoltare a științei și a tehnicii în epoca respectivă.

1. MĂRIMI FUNDAMENTALE ȘI MĂRIMI DERIVATE

Fenomenele fizice pot fi înțelese, iar cunoștințele despre ele pot fi aplicate numai dacă le măsurăm și le caracterizăm cu ajutorul unor mărimi bine determinate.

În medicină și, în general, în biologie, măsurătorile fizice s-au introdus din ce în ce mai mult. În aceste domenii ale științei sînt astăzi folosite curent măsurătorile termometrice, calorimetrice, electrice, fotometrice, optice, radiometrice etc.

A măsura o mărime înseamnă a o compara cu o altă mărime de aceeași natură, luată arbitrar ca unitate. Mărimile fizice fiind de numeroase feluri, folosirea unor unități arbitrare pentru fiecare din ele ar complica mult expresiile care redau relațiile dintre diferitele mărimi.

De aceea, în fizică sînt folosite unități arbitrare numai pentru unele mărimi, independente una de alta; în mecanică, de exemplu, sînt utilizate asemenea unități pentru lungime, masă și timp. Aceste mărimi poartă numele de *mărimi fundamentale*.

Cu ajutorul acestor mărimi fundamentale se exprimă toate celelalte mărimi fizice; acestea din urmă se numesc mărimi derivate.

Lungimea fiind o mărime vizibilă, măsurarea lungimilor stă la baza măsurării tuturor fenomenelor fizice: se măsoară forța musculară după alungirea arcului de oțel al dinamometrului, se măsoară temperatura după lungimea coloanei de mercur, de alcool sau de tolueen din termometru, se măsoară unghiurile după lungimea arcului de cerc corespunzător etc.

2. UNITĂȚI DE MĂSURĂ

În trecut, unitățile de măsură aveau un caracter local. Ele variau, nu numai de la țară la țară, dar erau deosebite chiar în diferitele regiuni ale aceleiași țări. Pentru a nu exemplifica decât cu unitățile de lungime, trebuie să arătăm că unele din acestea erau legate de corpul omenesc (cot, picior, palmă, degete), altele de uzanțe locale (prăjină, stinjen), de călătorii (verstă, poștă, leghe, milă). Pentru suprafețe, capacități și greutatea se întrebuintau de asemenea variate unități locale.

Nefiind comparabile decât cu greu, toate aceste mărimi locale au fost înlocuite în secolul al XVIII-lea cu unități raționale, adunate într-un sistem legat de globul pământesc. Acest sistem a primit numele de „sistem absolut“.

a) **Unități fundamentale.** Unitățile de lungime, masă și timp folosite în mecanică, unitățile de permitivitate și permeabilitate a vidului întrebuintate în electricitate, se numesc unități fundamentale.

Ca unitate de lungime, în timpul Revoluției franceze, la sfârșitul secolului al XVIII-lea, s-a hotărât să se considere metrul (*metron* = măsurare);

în teorie, metrul este egal cu $\frac{1}{40\,000\,000}$ din lungimea meridianului

pământesc, lungime stabilită prin măsurători, triangulații și calcule trigonometrice făcute în acea epocă. Dar confecționarea metrului-model neputându-se face cu precizie, el se cuprinde de 40 008 032 de ori în lungimea meridianului.

De aceea, sistemul absolut, deși legat la început de Pământ, în stabilirea lui principială, are de atunci și pînă azi ca unitate fundamentală un etalon propriu, *metrul-etalon*.

Acest etalon a fost acceptat de toate popoarele prin convenția internațională încheiată la Conferința generală de măsuri și greutatea din anul 1889, și constituie măsura fundamentală a sistemului metric.

Metrul-etalon constă dintr-o bară metalică cu secțiunea în formă de X; această formă asigură metrului-etalon o încovoieră minimă în timpul manipulării.

Metrul-etalon se păstrează la Biroul internațional de măsuri și greutatea de la St. Cloud (Sèvres) lângă Paris, și este confecționat dintr-un aliaj de 90% platină și 10% iridiu, aliaj rigid, de foarte redusă variabilitate termică, mecanică și chimică.

Ca unitate de masă, a fost adoptat kilogramul-masă, care este masa unui litru ($1\,000\text{ ml} = 1\,000\text{ cm}^3$) apă distilată aflată la temperatura de $4,2^\circ$ cînd apa are densitatea maximă. Etalonul acestei unități fundamentale este un cilindru de platină iridiată (90% platină + 10% iridiu) cu diametrul de 39 mm și înălțimea de asemenea de 39 mm. Acest etalon se păstrează la un loc cu metrul-etalon; pe ele este gravat: „Pentru toate timpurile, pentru toate popoarele“.

După aceste două etaloane, fiecare țară își confecționează modele perfect identice, care servesc drept etaloane naționale. Astfel, în R.P.R. servesc ca prototip metrul național nr. 60, atribuit în acest scop în anul 1895 la Conferința generală de măsuri și greutatea, precum și kilogramul național nr. 2, atribuit de Conferința generală de măsuri și greutatea din anul 1889. Ambele etaloane naționale ale noastre se află în păstrarea Comisiei de stat a standardizării.

Măsurarea timpului este necesară pentru determinarea caracteristicilor desfășurării fenomenelor fizice în timp. Pentru a face o astfel de măsurătoare, se folosesc fenomenele a căror desfășurare în timp este cît mai riguros uni-

formă. Ca termen de comparație se ia rotația Pământului în jurul axei sale, adică ziua, iar ca unitate de timp se consideră „ziua solară medie”. Anul tropic (intervalul mediu dintre două treceri consecutive ale Soarelui la punctul echinoxial mijlociu de primăvară) are 365, 242 198 790 zile solare medii. Ora standard, și deci și secunda, sînt determinate de Biroul internațional al orei din Paris. Conservarea și difuzarea orei în R.P.R. sînt în sarcina Observatorului astronomic din București.

În studiile și aplicațiile fizicii în tehnică, se folosesc multiplii și sub-multiplii acestor trei unități, alese pentru măsurarea mărimilor fundamentale. În biologie și în medicină sînt folosiți mai ales submultiplii acestor unități:

Lungimile se măsoară cu centimetrul (cm) = $0,01 \text{ m} = 10^{-2} \text{ m}$; milimetrul (mm) = $0,001 \text{ m} = 10^{-3} \text{ m}$; micronul (μ) = $0,001 \text{ mm} = 0,000 001 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$; milimicronul ($\text{m}\mu$) = $0,000 001 \text{ mm} = 10^{-9} \text{ m}$; angström (Å) = $0,1 \text{ m}\mu = 0,000 000 1 \text{ mm} = 10^{-10} \text{ m}$; X = $0,001 \text{ Å} = 10^{-13} \text{ m}$.

Greutățile se măsoară cu gramul (g) = $0,001 \text{ kg} = 10^{-3} \text{ kg}$; miligramul (mg) = $0,001 \text{ g} = 0,000 001 \text{ kg} = 10^{-6} \text{ kg}$; microgramul (μ) = $0,001 \text{ mg} = 0,000 001 \text{ g} = 10^{-9} \text{ kg}$.

Ca unitate practică de timp se ia secunda (s), care este a 86 400-a parte a zilei solare mijlocii. Secunde se subdivid zecimal: zecimi de secundă, sutimi de secundă și miimi de secundă; milionimea de secundă se numește microsecundă și se notează $\sigma = 10^{-6} \text{ s}$.

În unele domenii ale fizicii, cum ar fi termometria, fotometria, acurmetria etc., sînt folosite mărimi care nu au legătură cu mărimile fundamentale; pentru acestea se întrebuintează însă unități care, după cum se va vedea la capitolele respective, fac și ele apel la unitățile fundamentale.

b) **Unități derivate.** Unitățile care servesc la măsurarea tuturor celorlalte mărimi fizice se numesc unități derivate; acestea se formează din unitățile fundamentale pe baza ecuațiilor de definiție alese pentru unitățile derivate respective.

Un exemplu de unitate derivată este dina, unitatea folosită pentru forță: dina este forța care dă unei mase de 1 g o accelerație de 1 cm/s^2 .

$$1 \text{ dină} = \frac{1 \text{ gram masă} \times 1 \text{ centimetru}}{1^2 \text{ secundă}}$$

Această unitate derivată folosește toate cele trei unități fundamentale.

În tratarea diferitelor capitole vom întîlni și amănunți diferitele unități derivate, îndeosebi cele folosite în domeniul medical.

c) **Sisteme de unități.** Unitățile de măsură se grupează în mai multe sisteme de unități. :

Sistemul CGS (centimetru, gram, secundă).

Sistemul CGSes cuprinde în plus unitatea electrostatică de permitivitate a vidului (constanta dielectrică ϵ).

Sistemul CGS em cuprinde ca unitate fundamentală permeabilitatea magnetică a vidului μ .

Sistemul MKS (metru, kilogram, secundă).

Sistemul MTS (metru, tonă, secundă).

Sistemul MKfS (metru, kilogram-forță, secundă), în care kilogramul forță este forța cu care Pământul atrage etalonul de platină (kilogramul masă), conferindu-i o accelerație de $980,665 \text{ cm/s}^2$ în vid. Sistemul de unități MKfS are o aplicabilitate strict limitată la mecanică, lipsindu-i legătura cu capitolele de electricitate.

3. PRECIZIA MĂSURĂRILOR

Cu toată străduința cercetătorului, rezultatele măsurătorilor nu sînt totdeauna precise. Precizia măsurărilor depinde de doi factori principali: de gradul de dezvoltare a tehnicii măsurării și de modul atent și îngrijit în care se face determinarea cu ajutorul instrumentelor și aparatelor de măsurat. Această precizie este cu atît mai mare cu cît ambele condiții sînt mai bine îndeplinite. Cu cît precizia măsurării va fi mai mare, cu atît legile fizice, descoperite prin experimentare și enunțate pe baza rezultatelor măsurărilor, vor fi formulate mai precis.

Precizia unei măsurări poate fi de două feluri: științifică și utilă.

Precizia științifică necesară studiului și cercetărilor cere ca eroarea să fie cît mai mică. Ea se obține prin perfecționarea tehnică a aparatelor de măsurat și pe măsură ce experimentatorul capătă îndeminare în manipularea acestor aparate. Grosimea unei secțiuni histologice va fi măsurată în microni și lungimea de undă a unei radiații în angströmi, iar dozarea unor vitamine se va face în micrograme. În unele cazuri, cum este cel al determinărilor curente din laboratorul medical, precizia poate fi mai mică, pe cînd în altele, în cercetările de fizică atomică, de exemplu, precizia trebuie să fie mai mare.

În aplicațiile practice avem nevoie de o *precizie utilă* a măsurătorilor: în acest caz se ține seama de scopul măsurării. În adevăr, vom determina înălțimea unui om în centimetri (de exemplu 1,72 m) sau cel mult în milimetri (1,725 m); durata medie de viață a unui om se arată în ani (56 de ani) (sau în ani și luni (56 de ani, 3 luni), iar greutatea specifică a unei substanțe se determină în mg (de exemplu, 1,125 g) sau în decimiligrame (de exemplu, 1,1254 g) pe cm^3 . Această precizie este suficientă, ea corespunzînd nevoilor practice în cazurile date.

4. ERORILE DE MĂSURARE

Abaterile rezultatelor obținute de la rezultatele reale se numesc *erori de măsurare*. Din punctul de vedere *cantitativ*, erorile sînt de două feluri: *absolute* și *relative*. Dacă la cîntărirea unui gram de substanță eroarea este de 1 mg, iar la cîntărirea a 1 000 g eroarea este de asemenea de 1 mg, eroarea absolută (1 mg) va fi aceeași la ambele cîntăriri; dar, în timp ce la prima cîntărire eroarea relativă, referită la greutatea substanței cîntărite, este de $1/1\,000 = 0,001$, la a doua cîntărire eroarea relativă este de $1/1\,000\,000 = 0,000\,001$.

În determinările ce se fac în toate ramurile biologiei și în medicină interesează îndeosebi erorile relative. Ele pot fi prin lipsă sau prin exces, după cum cantitatea reprezentată de eroare lipsește sau este în plus față de greutatea la care o referim.

Din punctul de vedere al calității, erorile sînt de asemenea de două categorii: *erori întâmplătoare sau accidentale* și *erori sistematice*.

Experiența arată că o măsurare precisă nu se poate face printr-o singură determinare. Chiar pentru precizia utilă a unei măsurări, care nu se apropie totdeauna de precizia științifică, este nevoie de cîteva determinări căci altfel măsurarea este expusă unor erori cu consecințe de multe ori serioase.

De aceea determinările se repetă de un număr cît mai mare de ori, pe cît permite cazul dat, și se face media aritmetică a rezultatelor obținute. Media aritmetică va fi cu atît mai apropiată de realitate cu cît numărul determinărilor va fi mai mare. Revăzînd șirul de rezultate vom găsi că unele din ele sînt mai mari decît media, iar altele sînt mai mici.

Astfel, pentru a măsura greutatea specifică a uleiului de parafină facem de exemplu 10 determinări și obținem următoarele rezultate:

Tabelul 1

Greutatea specifică g/ml	Eroarea față de medie
0,894	— 0,000 35
0,895	— 0,000 25
0,896	— 0,001 5
0,894	— 0,003 5
0,896	— 0,001 5
0,897	— 0,000 5
0,900	+ 0,002 5
0,901	+ 0,003 5
0,900	+ 0,002 5
0,902	+ 0,004 5

Confruntind media aritmetică 0,897 5 a acestor zece determinări cu rezultatele fiecăreia din ele, se observă că șase sînt determinate cu eroare prin lipsă, iar 4 cu eroare prin exces. Erorile care sînt prin exces, egale sau aproape egale, în număr și valoare cu cele prin lipsă, se numesc *erori accidentale*. Determinările făcute totdeauna în aceleași condiții de temperatură și presiune, la un ulei de parafină de aceeași compoziție chimică, vor da greutatea specifică 0,897 5 sau, în orice caz, o densitate care oscilează între 0,894 și 0,902, valorile maxime și minime obținute în cele 10 determinări.

Dacă însă la determinarea, de exemplu a greutății specifice a apei chimic pure, la temperatura de $+4,2^{\circ}$, obținem următoarele rezultate

0,998 g/ml	0,998
0,997	0,999
0,996	0,994,

media aritmetică 0,997 a acestor șase determinări nu poate reprezenta greutatea specifică a apei pure la $+4,2^{\circ}$, cînd știut este că ea este luată prin definiție egală cu 1,000 0, această categorie de erori, toate prin lipsă (ori toate prin exces), constituie *erori sistematice*: ele se caracterizează prin faptul că se află sistematic de o singură parte a mediei reale și că sînt deci, ori numai prin exces, ori numai prin lipsă.

Erorile sistematice sînt cele mai grave. Ele se datoresc condițiilor obiective și subiective în care se lucrează; aceste erori pot fi în legătură cu aparatele neprecise, cu metodele nepotrivite, ele se pot datori, fie lipsei de experiență în manipularea aparatelor, fie lipsei de atenție a celui care execută măsurătoarea.

IV. REPRESENTAREA REZULTATELOR MĂSURĂRILOR

În general, rezultatele numerice obținute în cursul unor determinări se înscriu într-un tabel (v. tabelul 2), care cuprinde într-o coloană valoarea mărimii ce variază independent, iar în coloana a doua valoarea mărimii căutate, adică variabila dependentă.

Astfel, în clinică, dacă alcătuim un tabel de temperaturi, acesta va cuprinde în coloana întâi timpul (ziua sau ora), iar în coloana a doua,

temperatura bolnavului în timpul respectiv. În laborator, de exemplu, la studiul variației greutatei specifice a unor soluții de NaCl în apă, prima coloană va cuprinde concentrația soluției, iar coloana a doua greutatea specifică. În biostatistică, dacă avem de alcătuit un tabel cuprinzând de pildă nașterile din cursul unui an într-o anumită localitate, pe luni, luna va fi cuprinsă în prima coloană iar numărul de nașteri din luna respectivă, în coloana a doua.

Tabelul 2

Temperatura bolnavului A în ziua B		Greutatea specifică a soluției de NaCl, la 15°		Numărul nașterilor în anul X, pe luni, în orașul Y	
Ora	temp. °C	Conc. %	Greutatea specifică	Luna	Nr. nașterilor
5	36,5	1	1,006 4 g/ml	I	200
6	36,6	2	1,013 7	II	250
7	36,7	3	1,010 9	III	280
8	36,7	4	1,028 2	IV	300
9	36,8	5	1,035 5	V	350
10	36,9	6	1,042 9	VI	300
11	37,0	7	1,050 3	VII	280
12	37,1	8	1,057 7	VIII	200
13	37,1	9	1,065 1	IX	250
14	37,1	10	1,072 6	X	200
15	37,2			XI	150
16	37,4			XII	200
17	37,5				
18	37,3				
19	37,2				
20	37,1				

Analiza unor astfel de tabele este deseori greoaie; ele nu arată dinamica fenomenului studiat, dezvoltările actuale sau posibile. De aceea, rezultatele măsurătorilor se reprezintă de cele mai multe ori grafic. Aceasta se face, fie prin curbe (grafice algebrice), fie prin suprafețe (grafice geometrice).

Prin curbe se reprezintă rezultatele acelor măsurători în care variația rezultatelor se face după o anumită lege, ele depinzând de mărimile care variază independent. Astfel, cu cât concentrația unei soluții de sare în apă este mai mare, cu atât greutatea ei specifică este mai mare. Pe abscisă se ia variabila independentă (în exemplul de față, concentrația), iar pe ordonată variabila dependentă sau funcția (în cazul de față, greutatea specifică). Prin unirea punctelor aflate la intersecția fiecărei perechi de cifre rezultă o curbă (fig.1), care constituie graficul respectiv. Pe o asemenea curbă, dacă avem de căutat o greutate specifică, cuprinsă între alte două succesive (de exemplu, pentru o soluție de 2,5%), nu mai este nevoie să determinăm această greutate specifică, ci o putem afla prin interpolare, ridicând ordonata la mijlocul distanței dintre punctele 2 și 3, până ce atinge curba; ducând în acest punct de contact abscisa, vom găsi valoarea de 1,017 3 a greutatei specifice a soluției de 2,5%.

În măsurătorile unde nu există o dependență după o anumită lege între variabila independentă (de exemplu, timpul) și cea dependentă (de exemplu, numărul de nașteri), reprezentarea grafică nu se poate face printr-o curbă algebrică, și nu se pot obține nici interpolări juste. Astfel, dacă în luna iulie au fost 280 nașteri și în luna August 200, nu putem ști câte nașteri au fost la 15 august, nici prin calcul, și nici prin interpolare căci se prea poate ca, din cei 200 de copii născuți în luna

august, 180 să se fi născut în prima jumătate a lunii și 20 în a doua jumătate, sau 30 în prima jumătate și 170 în a doua jumătate etc.; avem astfel o infinitate de soluții.

În aceste cazuri, graficul nu mai poate fi redat sub formă algebrică ci sub formă geometrică. Aceasta se face în mai multe feluri, însă toate pe principiul construirii unor suprafețe proporționale cu valorile numerice ale rezultatelor respective. Astfel, reprezentând rezultatele prin dreptunghiuri cu baze egale și cu înălțimile proporționale cu numărul nașterilor

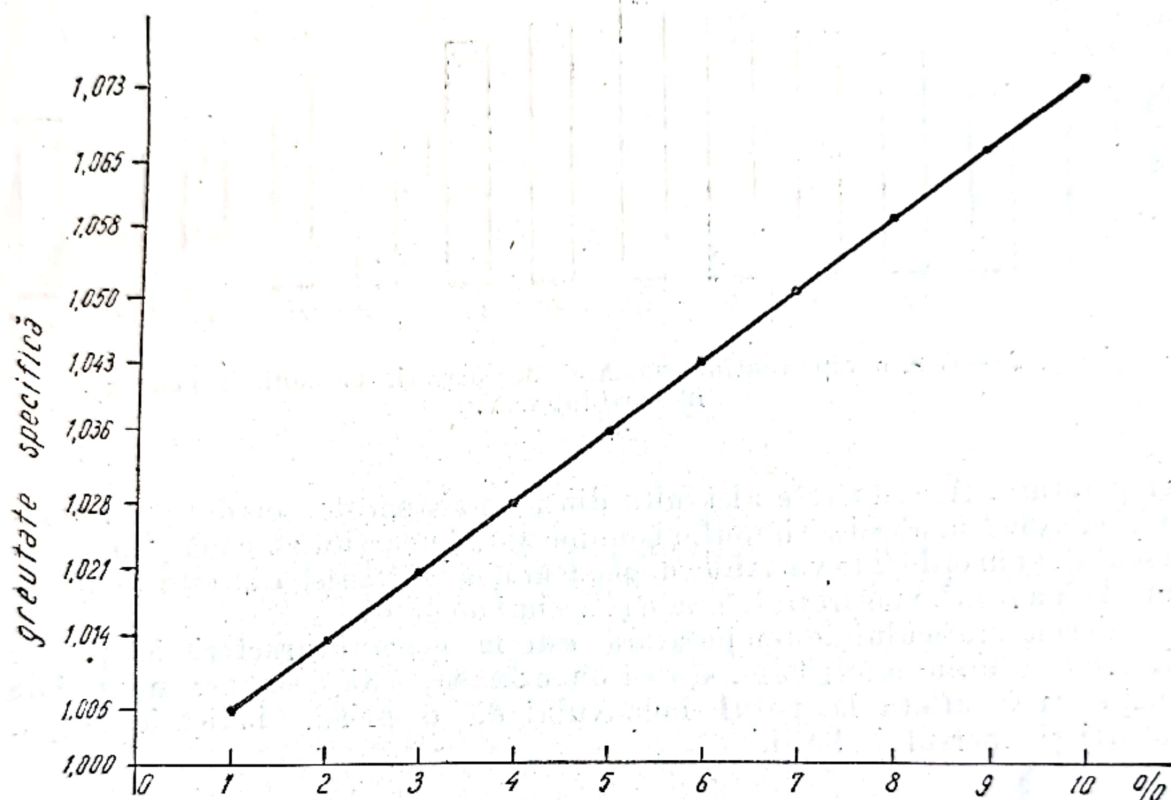


Fig. 1 — Reprezentarea grafică a variației greutății specifice, la 15°, a unei soluții de NaCl (între 1 și 10%).

lunare, avem pentru fiecare lună o suprafață proporțională cu numărul nașterilor din tabelul respectiv (fig. 2).

Se pot reprezenta pe un singur grafic două variabile dependente de o singură variabilă independentă. Astfel, în medicina școlară este nevoie uneori să urmărim cum variază, cu vârsta, înălțimea și greutatea școlarilor. Limitând problema la băieții de vîrsta 6—10 ani și făcînd media pe sute de copii dintr-o anumită localitate mai mare, să presupunem că obținem tabelul următor:

Tabelul 3

Vîrsta (ani)	Înălțimea medie (cm)	Greutatea medie (kg)
6	111	18
7	116	20
8	118	22
9	123	24
10	128	26
11	130	28

Reprezentarea grafică a acestor date se face ca în fig. 3.

În unele boli infecțioase febra și pulsul fiind în funcție de perioada de evoluție a bolii, temperatura bolnavului în ziua și ora respectivă se consemnează într-un grafic de tip algebric, de formă specială, numit foaia de

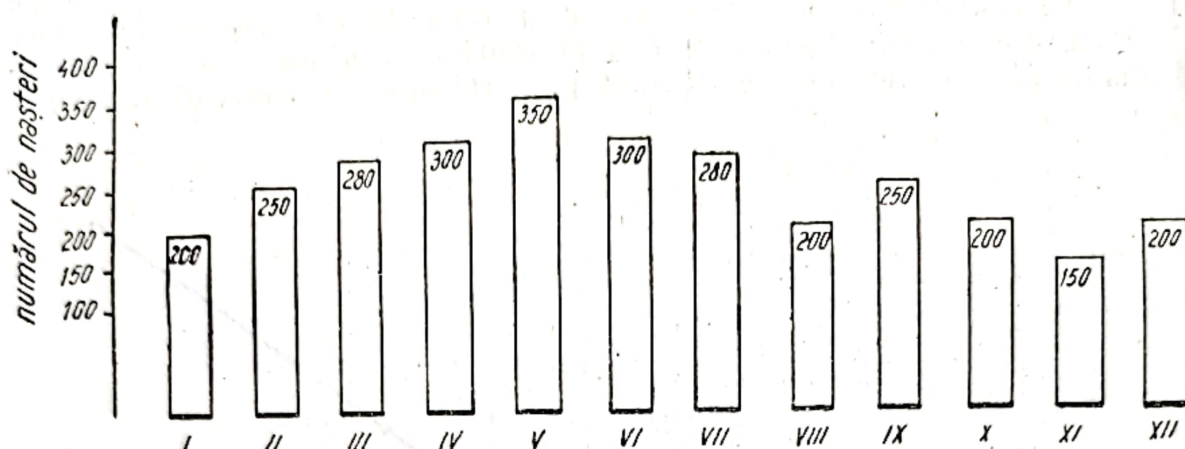


Fig. 2 — Grafic reprezentând numărul de nașteri, pe luni, în anul X, în localitatea Y.

temperatură. Aceasta este alcătuită dintr-un sistem de coordonate rectangulare, având în abscise timpul, și anume ziua împărțită în două (dimineața și seara), și în ordonate variabila dependentă, care în acest caz este temperatura bolnavului, măsurată în grade și zecimi de grad.

Forma graficului de temperatură este în general caracteristică pentru fiecare din bolile infecțioase, așa că un examen, chiar sumar, al foi de temperatură aflată la patul bolnavului dă o primă indicație asupra naturii și mersului bolii.

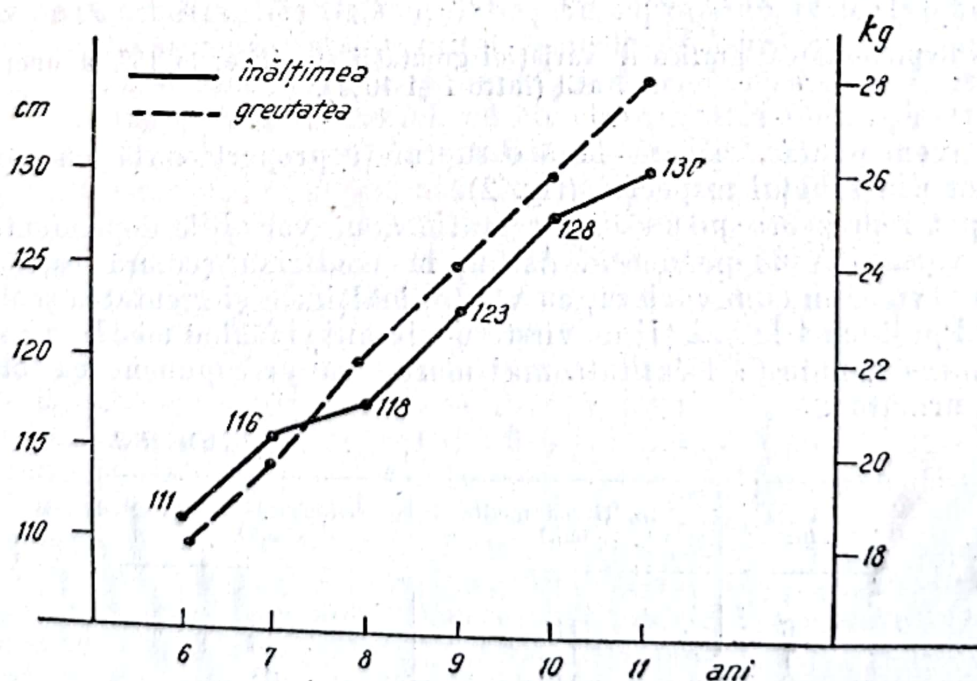


Fig. 3 — Creșterea în înălțime și greutate a băieților între 6 și 10 ani (grafic reprezentând valorile medii).

MECANICA

I. BAZELE FIZICE ALE MECANICII

Mecanica studiază formele cele mai simple de mișcare a materiei. Fenomenul mecanic fiind observat direct de om din cele mai vechi timpuri, mecanica a fost partea din fizică ce s-a dezvoltat mai curînd decît celelalte ramuri ale ei.

Legile fundamentale ale mecanicii au fost descoperite de Galileu (Galileo Galilei, 1564 — 1642) și de Newton (1642 — 1727). Newton le-a dat formularea fizică, iar Leonard Euler (1707 — 1783) le-a dat expresia analitică.

Mecanica lui Galileu și a lui Newton, denumită „mecanica clasică”, se ocupă cu mișcările corpurilor care au dimensiuni mari (de la corpurile din jurul nostru și pînă la planete) și care au viteze mici în comparație cu viteza luminii.

Legile mecanicii clasice nu mai sînt însă valabile cînd este vorba de mișcările corpurilor de dimensiuni mari și care au viteze de ordinul vitezei luminii. Aceste mișcări se studiază în mecanica relativistă, care are la bază teoria relativității, stabilită de Albert Einstein (1879 — 1955). Legile mecanicii clasice nu sînt valabile nici în cazul mișcării particulelor infinit de mici, cum sînt atomii, electronii, protonii, neutronii. Mișcările acestor particule se studiază în mecanica cuantică, ale căror baze au fost puse prin cercetările lui Max Planck (1840 — 1930).

Repaus, mișcare, sisteme de referință. Noțiunea de mișcare mecanică, de deplasare a corpurilor de mărime apreciabilă, cere existența unei poziții de unde începe mișcarea, adică a poziției de repaus.

Cum însă materia și corpurile formate din ea se află într-o necontenită mișcare, repausul absolut nu există.

Putem însă considera arbitrar unele puncte ca fiind fixe și, în interesul studiului, să raportăm față de acestea mișcarea sau repausul unui corp. În acest caz, mișcarea și repausul devin relative.

Prin urmare, pentru a putea caracteriza mișcarea unui corp trebuie să folosim un sistem de referință. Astfel, o mișcare mecanică într-o cameră are ca sistem de referință podeaua sau peretele, considerate ca fiind în repaus; un vehicul este în mișcare față de clădirile de pe stradă, socotite ca fixe; Pămîntul cu tot ce se află pe el este în mișcare de rotație diurnă în jurul axei sale, socotită ca fiind fixă; mișcarea planetelor are drept sistem de referință Soarele, socotit fix, iar mișcarea întregului sistem solar se face față de o stea foarte îndepărtată, considerată, pentru nevoile calculelor astronomice, ca fiind fixă.

În mecanică, cel mai obișnuit sistem de referință se reprezintă printr-un sistem de coordonate spațiale, de obicei trirectangulare. Cea mai bună exemplificare practică a unui astfel de sistem se poate face într-o cameră de formă cubică, în care coordonatele pot fi considerate astfel: axa OX și OY sînt muchiile unde doi pereți vecini se întîlnesc cu podeaua, iar OZ , muchia de întîlnire între ei a celor doi pereți considerați. Originea O a coordonatelor se află deci în colțul unde se întretaie cele trei linii de întîlnire ale suprafețelor menționate (fig. 4).

În cercetările astronomice putem stabili un sistem de trei coordonate, îndreptate spre trei stele foarte depărtate, considerate ca fixe. Se folosesc de obicei coordonate rectangulare, adică cele care fac între ele un unghi de 90° , pentru simplificarea calculelor analitice.

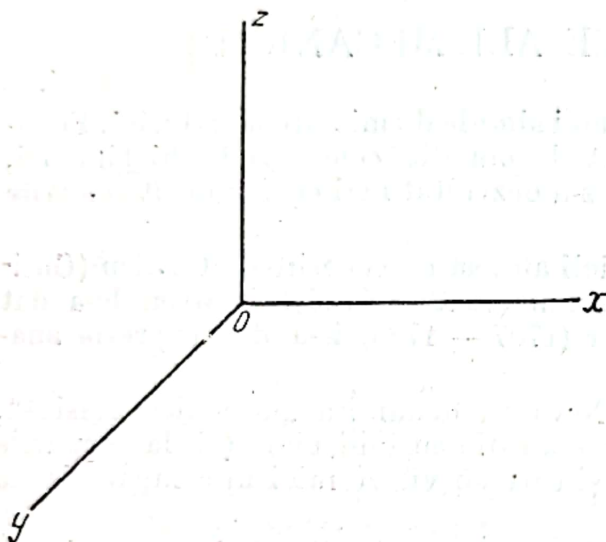


Fig. 4 — Sistemul de coordonate rectangulare spațiale.

II. MECANICA CORPULUI RIGID

Pentru ușurința studiului mecanicii, aceasta se împarte în mai multe părți. După corpul în mișcare, se deosebesc mecanica corpului rigid și mecanica fluidelor (lichide și gaze).

Mecanica ambelor categorii de corpuri cuprinde trei subdiviziuni mai importante: cinematica, dinamica și statica.

Cinematica studiază mișcarea pe diferitele traiectorii, în

raport cu timpul și independent de cauzele care provoacă mișcarea.

Dinamica studiază mișcarea corpurilor legată de cauzele care o produc, adică forțele.

Statica studiază echilibrele corpurilor asupra cărora acționează diferite forțe, precum și mijloacele de realizare a acestor echilibre.

A. CINEMATICA

Cinematica este partea din mecanică ce studiază mișcarea corpurilor din punct de vedere geometric; ea este o geometrie a mișcării. Se studiază în cinematică deplasarea corpului în raport cu timpul, fără a se ține seama de cauzele care produc mișcarea. Se întîlnesc deci în acest capitol noțiunile de spațiu, timp, viteză și variația vitezei.

Pentru ușurința studiului se consideră drept corp în mișcare un punct material, adică un corp mobil de dimensiuni atât de mici încît pot fi neglijate. Chiar Pămîntul, cu dimensiunile sale enorme, poate fi considerat ca un punct material în imensitatea sistemului solar și a sistemului astral, din care face parte Soarele împreună cu planetele lui.

Mișcarea este perfect determinată dacă se cunosc traiectoria ei și legea mișcării.

Traectoria, adică drumul descris de mobil în mișcare, poate avea forma geometrică de linie dreaptă (traectorie rectilinie) sau de linie curbă (traectorie curbilinie).

Legea mișcării exprimă relațiile dintre cele două mărimi fundamentale: spațiul și timpul. Din acest punct de vedere, mișcările se deosebesc între ele prin faptul că corpurile în mișcare pot parcurge, în intervale de timp egale, spații egale ori spații neegale.

1. MIȘCAREA UNIFORMĂ

Un mobil se află în mișcare uniformă când parcurge distanțe egale în intervale egale de timp.

Într-o mișcare uniformă, spațiul s străbătut este proporțional cu timpul t folosit pentru parcurgerea acestui spațiu; se poate deci scrie:

$$s = vt, \quad (1)$$

unde v este constanta de proporționalitate. Valoarea acestei constante se obține considerând timpul egal cu unitatea ($t = 1$). În acest caz, $s = v$, ceea ce înseamnă că, în mișcarea uniformă, viteza reprezintă spațiul parcurs de mobil în unitatea de timp.

Din formula (1) care reprezintă legea mișcării uniforme, deducem valoarea vitezei

$$v = \frac{s}{t}.$$

Viteza este deci o mărime fizică direct proporțională cu distanța parcursă și invers proporțională cu timpul în care este parcursă această distanță. Din această relație fundamentală se obține unitatea de măsură pentru viteză, care este o unitate derivată, deoarece și viteza este o mărime derivată.

Pentru a obține unitatea de măsură pentru viteză, facem raportul dintre mărimile fundamentale s (lungime) și t (timpul), care au unitățile lor de măsură cunoscute:

$$\frac{s \text{ (în centimetri)}}{t \text{ (în secunde)}} = v \text{ (în cm/s)}.$$

Vitezele se măsoară deci în cm/s. În aplicațiile curente, viteza se măsoară și în m/s sau în km/s, km/oră, după nevoile respective.

În tabelul 4 se dau câteva viteze curente.

Tabelul 4

Mobilul	Viteza
Un om.	1,5 m/s în mers
Un sportiv	8 m/s în fugă
Calul	15 m/s în galop
Biciclistul	10 m/s în mijlocie
Automobilul	20 m/s în mijlocie
Avionul	200 m/s în mijlocie
Sunetul	340 m/s în aer pe timp frumos
Avionul cu reacție	400 m/s (viteză suprasonică)
Pământul	29 516 m/s în jurul soarelui
Un punct de pe ecuator	463 m/s în mișcare de rotație a pământului
Lumina	300 000 km/s.

Curba care reprezintă grafic spațiul în mișcare rectilinie uniformă este o linie dreaptă (fig. 5). Aceasta este mai mult sau mai puțin înclinată față de axa absciselor, adică unghiul α format de curbă cu axa OX este mai mare sau mai mic, după valoarea vitezei.

Pentru caracterizarea acestui unghi α , trebuie să considerăm punctul c , care reprezintă spațiul s parcurs în timpul t , și să ducem prin punctul c

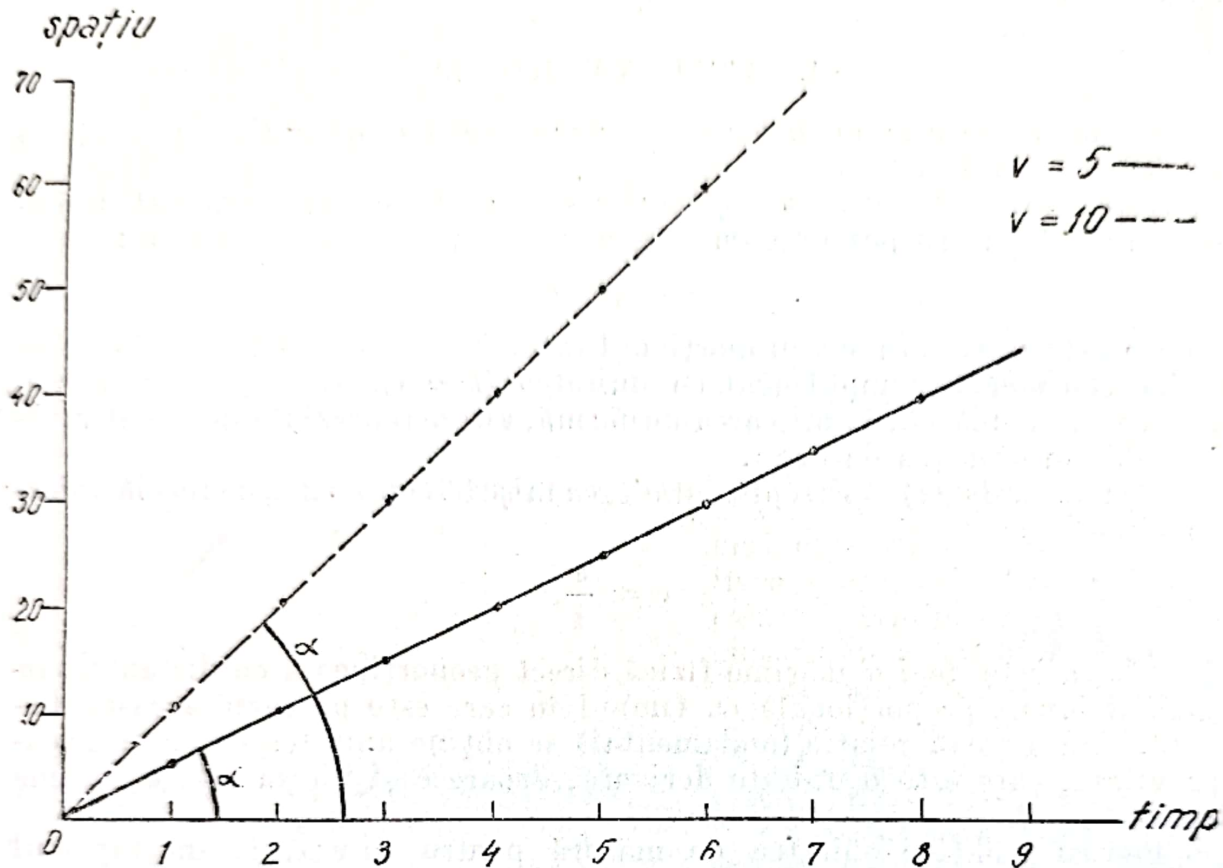


Fig. 5 — Graficul spațiului în mișcarea rectilinie și uniformă, pentru două viteze.

un arc de cerc cu centrul în O ; aplicând relațiile trigonometrice fundamentale, obținem:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Deci, tangenta unghiului α al curbei OC , care reprezintă spațiul în mișcarea uniformă, caracterizează viteza acestei mișcări. Panta curbei, adică tangenta unghiului α , pe care ea îl face cu abscisa, este cu atât mai mare cu cât viteza este mai mare.

Viteza fiind constantă, curba care reprezintă viteza este o linie dreaptă paralelă cu axa absciselor și aflată la o distanță v de această abscisă.

2. MIȘCAREA VARIATĂ

Mobilul care parcurge spații neegale în timpuri egale execută o mișcare variată. Viteza în această mișcare nu mai este constantă, ci variază și ea cu timpul. Această viteză poate varia însă în infinit de multe moduri.

Cea mai simplă mișcare variată este aceea în care viteza v se modifică uniform cu cantități egale a , în intervale de timp egale t .

Când a este pozitiv, viteza crește cu timpul și mișcarea se numește uniform accelerată sau, mai simplu, accelerată, iar dacă a este negativ, viteza scade, mișcarea numindu-se uniform întârziată.

În cazul mișcării uniform variate, viteza are o expresie asemănătoare spațiului din mișcarea uniformă și anume:

$$v = a \cdot t \quad (1)$$

unde a este o constantă de proporționalitate numită accelerație.

Accelerația a a mișcării rectilinii uniform variate este o mărime fizică direct proporțională cu creșterea vitezei și invers proporțională cu timpul în care s-a produs această creștere:

$$a = \frac{v}{t}$$

Pentru a stabili ecuația care reprezintă legea mișcării uniform variată, considerăm un mobil care străbate în intervalul de timp t spațiul AB cu o mișcare uniformă. Dacă V_A este viteza inițială în momentul plecării din punctul A și V_B viteza în momentul când ajunge în punctul B , în acest moment viteza V_B are valoarea:

$$V_B = a \cdot t,$$

fiindcă a crescut proporțional cu timpul.

Dacă un alt mobil parcurge aceeași distanță AB în același timp t , cu o mișcare uniformă, viteza constantă v a acestui mobil trebuie să fie media vitezelor V_A și V_B cu care mobilul începe și sfârșește drumul său AB :

$$V_{med} = \frac{V_A + V_B}{2} \quad (2)$$

Dacă mobilul pleacă din repaus, deci viteza inițială $V_A = 0$, vom avea:

$$V_{med} = \frac{0 + V_B}{2} = \frac{0 + at}{2} = \frac{at}{2}, \quad (3)$$

înlocuind această expresie a vitezei medii în formula $s = v \cdot t$, vom avea:

$$s = \frac{at^2}{2} = \frac{a}{2} t^2 \quad (4)$$

Factorul $\frac{a}{2}$ fiind constant, formula (4) se exprimă astfel: în mișcarea uniform variată, spațiul străbătut s este proporțional cu pătratul timpului lui (t^2).

Valoarea accelerației a se obține dînd timpului valoarea 1. În acest caz avem.

$$s = \frac{a}{2} \quad \text{și} \quad a = 2s$$

Accelerația are deci valoarea îndoită a spațiului parcurs în prima unitate de timp a mișcării.

Accelerația fiind o mărime derivată, unitatea pentru măsurarea ei va deriva și ea din unitățile fundamentale. În adevăr, în ecuația care exprimă legătura dintre accelerație, viteză și timp, vom avea:

$$a = \frac{v}{t};$$

deci, accelerația se exprimă:

$$a = \frac{\frac{cm}{sec}}{sec} = \frac{cm}{sec^2}$$

Pentru a stabili o legătură între cele trei lungimi: spațiul, viteza și accelerația, putem elimina timpul între cele două ecuații (1) și (4):

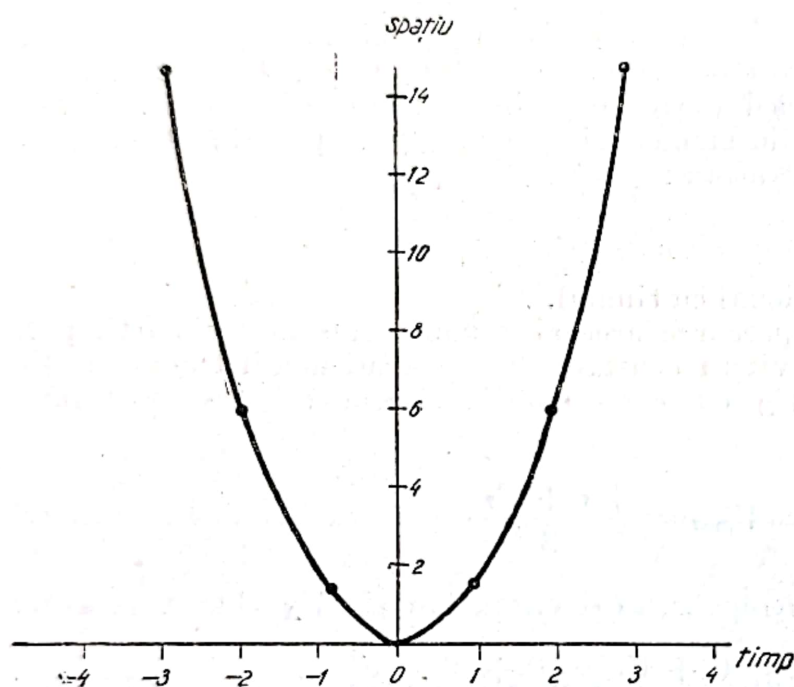


Fig. 6 — Graficul spațiului în mișcarea accelerată.

$$v = at \text{ și } s = \frac{at^2}{2}$$

și obținem $v = \sqrt{2as}$,

care ne dă viteza în funcție de accelerație și de spațiul parcurs în fiecare moment.

Reprezentarea grafică a mișcării uniforme variate. Curba care reprezintă grafic spațiul în mișcarea uniform variată este o parabolă. Această parabolă are ramurile în sus dacă mișcarea este accelerată și ramurile în jos dacă mișcarea este întârziată (fig. 6).

3. MIȘCAREA CIRCULARĂ UNIFORMĂ

Un punct material M face o mișcare circulară când traiectoria lui este un cerc; dacă el străbate arcuri egale în timpuri egale, mișcarea este circulară uniformă.

Se numește viteză liniară v , arcul de cerc descris în unitatea de timp. Dacă în locul punctului material M considerăm raza vectoare care unește acest punct cu centrul mișcării, vom vedea că fiecare punct de pe această rază vectoare OM descrie în aceeași unitate de timp un arc de altă mărime. Viteza liniară a fiecărui punct va fi deci diferită, începând de la cea mai mică pentru punctul O , care are viteza liniară zero, și mergând pînă la viteza liniară cea mai mare a punctului M .

Pentru a avea aceeași viteză pentru toate punctele de pe raza vectoare, s-a introdus noțiunea de *viteză unghiulară*.

Să presupunem că un punct oarecare de pe raza vectoare a descris un cerc complet în timpul T . Lungimea cercului fiind $2\pi r$, va cuprinde raza de

2π ori. Se spune că unghiul de 360° cuprinde 2π radiani, prin radian înțelegându-se unghiul la centru al cărui arc este egal cu raza cercului. În acest caz, unghiul de 180° are π radiani, iar unghiul de 90° are $\frac{\pi}{2}$ radiani.

Într-o secundă, un punct oarecare a descris un unghi la centru de $\frac{2\pi}{T}$ radiani. Acest unghi este prin definiție viteza unghiulară a mișcării circulare uniforme și se notează cu litera ω (omega). Vom avea deci

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s.}$$

Timpul T , după care mobilul ajunge din nou la poziția inițială, după ce a făcut o rotație completă, se numește perioada mișcării circulare uniforme.

Numărul de rotații în unitatea de timp, adică frecvența mișcării, este inversă perioadei și se notează cu ν sau f :

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

În adevăr, dacă o mișcare circulară se face într-o cincime de secundă ($T = \frac{1}{5}$), într-o secundă ea va face cinci mișcări ($\nu = 5$).

Legătura dintre viteza unghiulară ω și viteza liniară v , reprezentată prin arcul MM' (fig. 7), este următoarea:

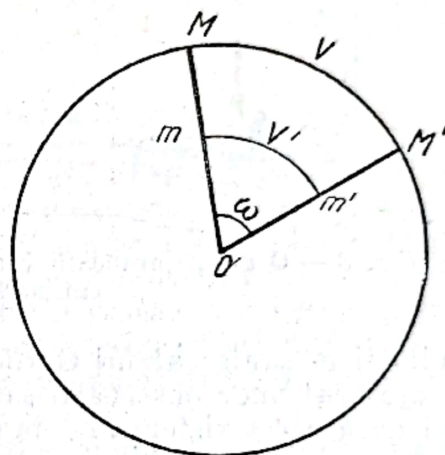


Fig. 7 — Vitezele liniare v și v' și viteza unghiulară ω în mișcarea circulară uniformă.

$$MM' = v = r \omega = r \frac{2\pi}{T} \text{ rad.}$$

Spațiul unghiular parcurs în timpul t în această mișcare circulară uniformă este produsul dintre viteza unghiulară și timpul t :

$$\Omega = \omega t = \frac{2\pi t}{T}$$

Spațiul liniar parcurs în timpul t , adică arcul corespunzător spațiului unghiular Ω , este dat de relația

$$l = vt = r\omega t = r \frac{2\pi}{T} t$$

Asupra altor elemente ale mișcării circulare uniforme se va reveni în capitolul „Acustica”, unde va fi dat și graficul prin care se reprezintă această mișcare.

B. RELATIVITATEA]

Atât repausul, cât și mișcarea, sînt relative, așa că, pentru a le putea studia, trebuie să le considerăm față de un reper socotit fix, adică față de un sistem de referință.

Un om aflat închis în cabina fără ferestre a unui vapor care se mișcă rectiliniu, uniform și fără trepidații, pe o apă liniștită, nu poate sesiza această mișcare rectilinie și uniformă, nici prin simțurile sale, și nici nu o poate determina prin vreo experiență. De asemenea, dacă vaporul este în repaus, observatorul nu poate determina această stare.

Acest fapt, care poartă numele de principiul relativității mecanice, a fost descoperit de Galileu. Redat într-o formă simplificată, principiul rela-

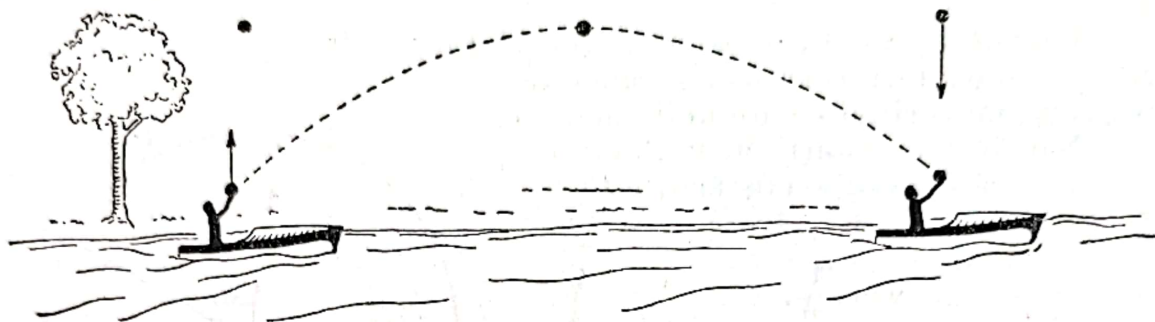


Fig. 8 — O minge aruncată vertical și prinsă vertical, într-o barcă cu motor în mers, a descris o parabolă.

tivității mecanice al lui Galileu spune că nu este posibil să se stabilească cu ajutorul unor observații sau experiențe din interiorul unui sistem inerțial dacă acest sistem are, în raport cu un al doilea sistem inerțial, o mișcare rectilinie și uniformă, și nici care este viteza acestei mișcări în raport cu cel de-al doilea sistem inerțial.

Experiența arată că, din punct de vedere mecanic, toate sistemele inerțiale sînt echivalente; oricare din ele se poate deci considera în stare de repaus, și astfel se poate determina în raport cu el viteza tuturor celorlalte sisteme inerțiale.

Astfel, pe puntea unui vapor fluvial, în mers uniform și rectiliniu, se pot face orice fel de mișcări, jocuri, etc., ca și cum am fi pe uscat; ba mai mult, dacă cineva aruncă o minge pe verticală în sus, el o prinde după cîteva secunde în mîini tot în același loc. Mingea, care la azvîrlire se află în dreptul unui reper *A* de pe malul apei la recăderea ei în mîna omului se va afla în dreptul unui alt reper *B* de pe mal, aflat la o distanță oarecare de reperul *A*, în funcție de viteza pe care a avut-o vaporul. Deci, deși în sistemul inerțial vapor, mingea a făcut o mișcare verticală, totuși, față de sistemul inerțial pămînt, ea a descris o traiectorie în formă de parabolă (fig. 8).

Principiul lui Galileu a fost generalizat la sfîrșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea de Michelson, Lorentz și Einstein; acesta afirmă că nu numai prin experiențe mecanice, dar nici prin experiențe de natură electrică sau luminoasă, făcute în interiorul sistemului, nu se poate constata că se efectuează o mișcare rectilinie și uniformă sau că sistemul se află în repaus.

În teoria relativității, stabilită de Einstein, și care cuprinde legile mișcării corpurilor mari ce au viteze de ordinul vitezei luminii, valabilitatea legilor mecanicii clasice a lui Newton și Galileu încetează.

C. CINEMATICA UMANĂ

În studiile de biologie, fiziologie și medicină, elementele de cinematică se aplică la studiul locomoției animale și umane.

Mersul omului a fost studiat în secolul al XVII-lea de Borelli (1682), în secolul al XVIII-lea de Barthes (1798) și de alți cercetători.

Determinările științifice din cinematica umană încep de la Marey. Fiziologul E. J. Marey (1830 — 1903) a studiat, începând din 1860 și până în 1888, mișcările membrelor, trunchiului și corpului omului în timpul mersului, alergatului și săriturii. În afară de studiul cinematic al mișcărilor diferitelor părți ale corpului și de caracterele pasului omenesc, Marey a mai studiat și dinamica mersului, presiunea piciorului pe sol, lucrul cheltuit în mers și alergat etc., care vor fi examinate în capitolul destinat dinamicii.

Acest studiu vast a fost făcut cu ajutorul cronofotografiei, și a dus la descoperirea celor mai multe din datele de care dispun astăzi fizica medicală și fiziologia în acest domeniu.

1. METODA CRONOFOTOGRAFICĂ

Metoda cronofotografică folosită de Marey, deși pentru studiul locomoției umane prezintă astăzi un interes mai mult istoric, are însă o importanță deosebită în istoria culturii. Marey obține pe această cale o serie de fotografii instantanee, luate la intervale egale și foarte mici. El fotografiază astfel omul în diferitele forme de deplasare. Pentru obținerea acestor fotografii, a fost folosită metoda cronofotografică; metoda a evoluat, în acea perioadă, de la fotografierea pe placă fixă la cea pe placă mobilă și apoi pe film.

Cronofotografia pe placă fixă. Subiectul care urmează să fie fotografiat este îmbrăcat într-o haină de culoare neagră și de formă specială, care-i acoperă întreg corpul și fața, lăsându-i loc numai pentru vedere. De-a lungul membrelor este cusut pe costum un șiret lat, iar în dreptul articulațiilor principale precum și pe bonetă, sint cusuți nasturi albi, mari.

Subiectul astfel îmbrăcat (fig. 9) se mișcă în fața unui aparat fotografic în care se află un clișeu fix; obiectivul aparatului este obturat ritmic printr-o paletă în genul acelei de la aparatele de proiecție cinematografică de azi, și anume, de 10 — 15 — 20 de ori pe secundă. Subiectul fiind îmbrăcat complet în negru și deplasându-se în fața unui perete negru, placa fotografică nu este impresionată decât de șiretul alb și de nasturii albi de pe haina lui. Se obține astfel pe o singură placă, la distanțe regulate, fotografia unei serii de imagini succesive (fig. 10) ale dungilor albe care, redând pozițiile succesive ale membrelor, corpului și capului, permit studierea mișcărilor subiectului.

Cronofotografia pe clișeu mobil este o perfecționare a cronofotografiei pe placă fixă. Ea permite obținerea unei serii de imagini, pe rând, pe un clișeu care se deplasează. Cum însă placa fotografică nu poate avea o mărime prea mare, iar deplasarea ei se face cu greutate și cu oarecare inerție, s-a recurs la filmul de celuloid. Filmul este deplasat ritmic cu ajutorul unui dispozitiv, în timp ce un obturator acoperă obiectivul aparatului fotografic, astfel ca fiecare fotografie să se facă pe altă porțiune a filmului. Expunerea filmului durează $1/500$ secundă, iar deplasarea și obturarea cam $1/10$ secundă.

Fotografiind corpul fără îmbrăcăminte, se obțin un șir de fotografii instantanee ale corpului omenesc, astfel că se pot studia atitudinea și miș-

cările mușchilor, pozițiile membrelor în diferitele faze ale locomoției, mersul, fuga etc.

Această metodă de lucru, cu care s-au studiat în acea epocă și zborul păsărilor, alergatul animalelor etc., precum și căderea corpurilor în vid (pentru a se demonstra că această cădere este o mișcare accelerată), stă la baza cinematografiei. Procedeul lui Marey constituie și astăzi principiul mecanic al deplasării și expunerii filmului cinematografic, al celor doi timpi, atât la luat vederile, cât și la proiecția cinematografică; metoda cronofotografică se află deci la baza creării acestui factor de cultură și știință, deosebit de puternic, care este cinematografia.

În prezent, studiul mișcării se face cu ajutorul *cine-matografiei*, și anume prin procedeul cunoscut sub denumirea de „filmarea cu încetinitorul”. Acest procedeu constă în a trece filmul prin aparatul de luat vederi cu

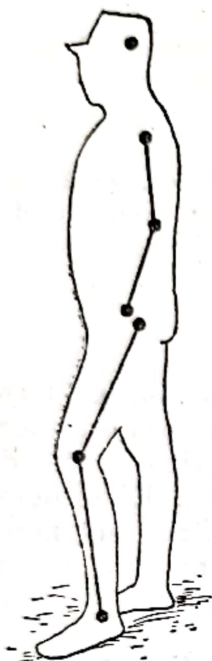


Fig. 9 — Alergătorul lui Marey.

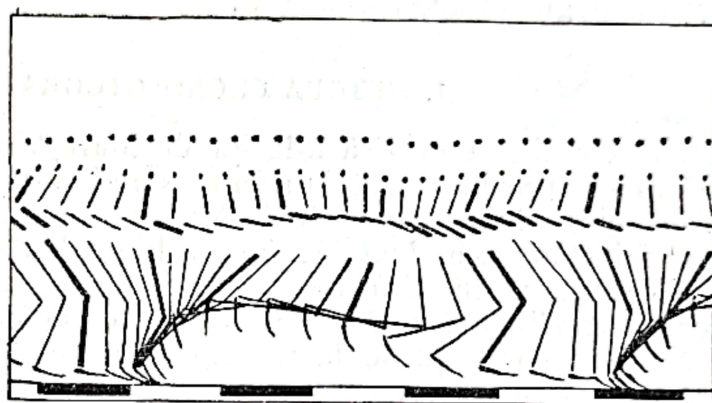


Fig. 10 — Cronofotografie pe placă fixă.

o viteză foarte mare, de 100 de imagini pe secundă, și a proiecta apoi filmul cu o viteză normală, folosită în proiecțiile cinematografice: 20 de imagini pe secundă. În acest mod, filmul este proiectat de cinci ori mai încet decât s-a făcut fotografierea, așa că se poate analiza mișcarea în desfășurarea ei. Pentru analizele diferitelor mișcări și faze se poate copia sau proiecta separat fiecare din cele 100 de pelicule luate într-o secundă, sau se pot lua succesiv fiecare a cincea, a zecea, a douăzecea etc. peliculă și copia alături, obținându-se astfel, în 20, 10 sau 5 fotografii succesive, mișcarea făcută într-o secundă. Astfel se poate amănunți cinematica umană și cea biologică în general.

2. MIȘCAREA MEMBRELOR INFERIOARE

Locomoția umană normală se face sub formă de mers, de alergare sau de săritură. Ea este caracterizată de faptul că subiectul ridică la un moment dat picioarele de pe sol, fie unul câte unul, fie ambele picioare dintr-o dată, într-o anumită fază a deplasării. În căzătură și în cazuri patologice, precum și în ebrietate, locomoția ia aspecte speciale; subiectul se tirăște, umblă în patru labe etc.

a) **Mersul.** Mersul se compune dintr-o serie de perioade de sprijin al corpului pe un singur membru inferior (sprijin unilateral), despărțite prin

perioade de sprijin pe ambele membre inferioare (sprijin dublu). Faza de sprijin unilateral are loc în cea mai mare parte a timpului. În timpul mersului există o poziție când picioarele sînt îndepărtate între ele, dar amîndouă sînt în contact cu pămîntul; piciorul de dinainte se sprijină pe călcîi și cel dinapoi pe vîrf. Aceasta este faza de sprijin dublu. Piciorul din urmă pornește apoi înainte, corpul se sprijină pe un singur picior: este perioada de sprijin unilateral.

Perioada de sprijin dublu este în mărime cam $\frac{1}{6}$ din perioada de sprijin unilateral. În faza de sprijin pe sol, membrul inferior este în extensie completă în momentul cînd atinge solul cu călcîiul, se flectează apoi ușor cînd este sprijinit pe întreaga talpă, este din nou în extensie în momentul în care corpul are poziția verticală, și rămîne astfel extins pînă la perioada de sprijin dublu, cînd membrul inferior considerat este în ușoară flexie.

În faza de suspensie, piciorul face o mișcare de rotație în jurul articulației șoldului, este permanent în flexie, și scurtarea atinge o valoare maximă puțin mai înainte de a ajunge în poziție verticală; se întinde apoi cînd începe faza de sprijin.

În perioada de sprijin unilateral se distinge *pasul posterior*, cînd piciorul oscilant se află în urma celui de sprijin și *pasul anterior*, cînd piciorul oscilant se află înaintea celui sprijinit. În fig. 11 sînt redată fazele mersului.

În fig. 12 sînt redată schematic pasul simplu posterior, pasul anterior și pasul întreg obișnuit, care

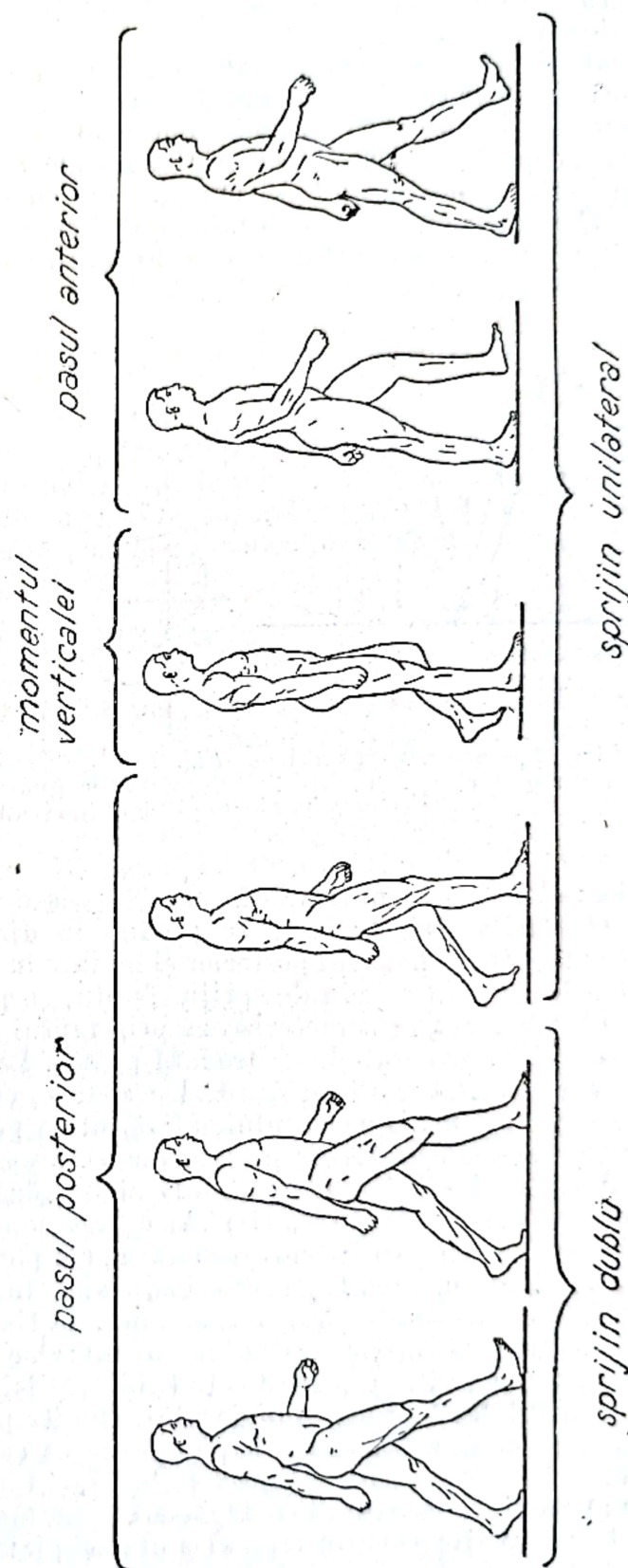


Fig. 11 --- Fazele mersului.

este jumătatea pasului dublu al lui Marey. În timpul acestor mișcări ale picioarelor, linia umerilor și linia soldurilor sînt între ele paralele în timpul verticalei și formează un unghi în timpul sprijinului dublu (fig. 13), așa cum se vede din proiecția liniei soldurilor (punctată) și cea a liniei umerilor (linie întreagă).

În deplasarea sa, corpul uman execută și alte mișcări și anume:

Oscilațiile verticale: corpul descrie în spațiu o curbă cu maxima în momentul verticalei și cu minima în perioada de sprijin dublu; în pasul posterior, capul se ridică și în cel anterior coboară. Amplitudinea acestei oscilații, este în medie de 3—4 cm și scade cu accelerarea mersului.

Oscilațiile transversale, legate de înclinarea corpului de partea piciorului de sprijin, măresc stabilitatea echilibrului corpului aflat pe un singur

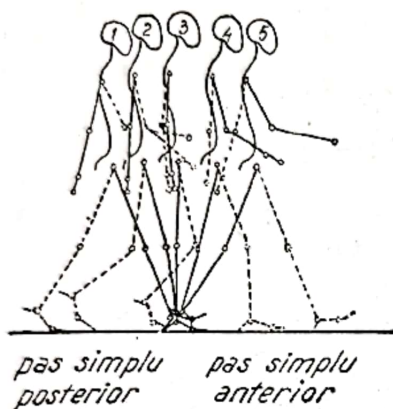


Fig. 12 — Schema pasului simplu posterior și anterior.

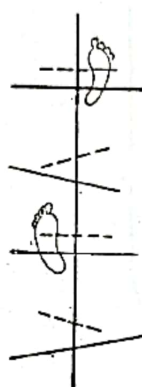


Fig. 13 — Proiecția pe un plan orizontal a axei soldurilor (punctat) și a axei umerilor (linie continuă) în timpul fazelor mersului.

picior: deplasarea maximă transversală are loc în momentul verticalei.

Oscilațiile longitudinale se produc în direcția mersului; corpul este înclinat pe spate în pasul posterior și înainte în pasul anterior. În momentul verticalei și în perioada de sprijin dublu, corpul are o poziție dreaptă.

b) **Alergarea** se caracterizează prin faptul că în nici un moment picioarele nu se găsesc amîndouă deodată pe sol. La o anumită viteză apare un interval în care corpul nu are de loc contact cu solul; aceasta se datorește puternicei propulsii a corpului, aflat într-o poziție mai înclinată decît în mers, propulsie care are drept rezultat o micșorare a componentei verticale (oscilație mai mică a trunchiului) și o mărire a componentei orizontale (creșterea vitezei de translație). Alergarea se compune decidintr-o serie de perioade de sprijin unilateral, separate prin perioade de suspensie.

În alergare, membrele inferioare sînt în flexie.

Trebuie deosebite alergarea de fond, în timpul căreia axul trunchiului este aproape vertical și atitudinea membrelor se apropie de cea din mers, și alergarea de viteză, pentru care subiectul își apleacă corpul înainte și nu atinge solul decît cu vîrfurile picioarelor. Durata perioadei de sprijin se micșorează față de cea de suspensie pe măsură ce crește viteza mișcării de alergare.

c) **Săritura** constă din deplasarea cu ambele picioare dintr-o dată, fazele de sprijin concomitent al ambelor picioare pe sol fiind separate de aflarea concomitentă a ambelor picioare în aer.

3. LEGILE PAȘILOR

Studiul locomoției umane s-a făcut nu numai calitativ, ci și cantitativ, ajungându-se prin numeroase cercetări la alcătuirea unor reguli, cunoscute sub denumirea de legile pașilor.

Marey a dat pasului definiția următoare: „pasul reprezintă seria de mișcări ce se execută între două poziții asemănătoare ale aceluiași picior”. Pasul definit astfel de Marey corespunde cu doi pași obișnuiți, unul făcut de piciorul drept și altul de cel stâng.

Legile pașilor se pot schematiza astfel:

a) lungimea medie a pasului normal este mai mare la bărbat (63 cm) decât la femei (50 cm);

b) la ambele sexe, pasul drept (piciorul stâng fiind cel sprijinit), este mai mare decât pasul stâng;

c) depărtarea laterală a picioarelor în timpul mersului este maimică la bărbați (11—12 cm) decât la femei (12—13 cm) din cauza conformației diferite a bazinului;

d) lungimea pasului crește cu frecvența, până la o cadență de 75 de pași pe minut; la o cadență mai mare, lungimea pasului scade;

e) viteza mersului crește cu frecvența pașilor până la o cadență de 85 de pași pe minut; la o cadență mai mare, viteza descrește.

D. DINAMICA

În timp ce în capitolul de cinematică se studiază mișcările corpurilor numai în funcție de timp, fără a se ține seamă de cauza modificării stării de mișcare a corpurilor, în capitolul intitulat „Dinamica” se studiază mișcarea legată de cauzele în care se produce, adică se studiază forțele (*dinamos* = forță).

Legile fundamentale ale dinamicii au fost descoperite de Newton și formulate în 1687 ca legi ale mișcării, în lucrarea sa „Principiile matematice ale filozofiei naturale”.

1. PRIMA LEGE A DINAMICII. INERȚIA

Inerția este o proprietate generală a tuturor corpurilor; ea a fost descoperită de Galileu. Studiul mai aprofundat făcut de Newton a dus la descoperirea și formularea legii inerției, numită prima lege a lui Newton sau prima lege fundamentală a dinamicii: un corp își păstrează starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă atâta vreme cât acțiunea altor corpuri nu-l obligă să-și modifice starea sa. Din această lege, consecință a unei îndelungate observații, rezultă că un corp își poate modifica starea de repaus sau de mișcare uniformă și rectilinie numai când este influențat de alte corpuri materiale.

Prima lege a dinamicii nu se verifică însă cu precizie în orice sistem de referință. În sistemele de referință de dimensiuni mici, legea lui Newton prezintă abateri evidente: astfel, într-un vagon de tren care se mișcă rectiliniu și uniform, corpurile aflate în repaus în raport cu vagonul nu se pun în mișcare fără a suferi influența altor corpuri; totuși, de îndată ce vagonul încetinește brusc sau accelerează brusc mișcarea pe care a avut-o (nu se mai află în mișcare uniformă) ori ocolește brusc (nu se mai află în mișcare rectilinie), corpurile părăsesc starea de repaus și, după cum arată

experiența zilnică, cad înainte, în urmă ori în lături, deși nu s-a exercitat asupra lor influența altor corpuri. Aceste abateri se observă și la sistemul de referință Pământ, unde vinturile alizee din regiunea cuprinsă între ecuator și cele două tropice nu bat perpendicular de la tropice spre ecuator, așa cum ar cere procesul formării lor, ci „rămân în urmă”, adică alizeul de nord bate de la nord-est spre sud-vest, iar cel de sud bate de la sud-est spre nord-vest. De asemenea, curenții marini, din marile oceane se abat în același fel de la legea inerției.

În cercetări, pentru a elimina aceste mișcări care se fac fără influența altor corpuri, se folosește un sistem de referință în care cele trei coordonate sînt îndreptate înspre trei stele foarte îndepărtate ce pot fi considerate ca fixe; acest sistem se numește sistem inerțial.

2. LEGEA A DOUA A DINAMICII. FORȚA

Din prima lege a lui Newton rezultă că numai influența unor corpuri materiale asupra altor corpuri materiale poate schimba starea de mișcare a acestora, modificînd mișcarea uniformă și rectilinie sau scoțînd corpul din repaus. Această influență se caracterizează printr-o mărime fizică numită „forță”; intervenția forței are drept rezultat dobîndirea unei accelerații.

Accelerația a este proporțională cu forța f aplicată

$$f = k \cdot a, \quad (1)$$

asa că, dacă asupra unuia și aceluiași corp influențează diferite alte corpuri, acestea pot imprima corpului accelerații diferite:

$$\frac{f}{a} = k \quad \frac{f'}{a'} = k \quad \frac{f''}{a''} = k$$

deci

$$\frac{f}{a} = \frac{f'}{a'} = \frac{f''}{a''} = k.$$

Experiența arată că o anumită forță pe care o aplicăm unor corpuri diferite le dă accelerații diferite. Trebuie să admitem deci că aceste accelerații diferite se datoresc însușirii corpurilor care sînt influențate. Însușirea aceasta se caracterizează printr-o altă mărime fizică, numită „masă”. Masa este una din caracteristicile cele mai importante ale unui corp. Ea depinde de mărimea și de natura acestui corp.

Experiența arată că un corp, cu cît va căpăta o accelerație mai mare sub influența unei anumite forțe, cu atît masa lui este mai mică și invers. Deci, masele diferitelor corpuri sînt invers proporționale cu accelerațiile pe care li le imprimă una și aceeași forță. Se poate exprima acest fapt prin relația

$$a = k \frac{f}{m} \quad (2)$$

unde k este un factor de proporționalitate.

Dacă se dă acestui factor k valoarea 1, relația de mai sus poate fi prezentată și sub formele următoare:

$$f = m \cdot a \quad \frac{f}{a} = m \quad (2 a)$$

Ecuatia (2) exprimă legea a doua a lui Newton și este ecuația fundamentală a dinamicii.

Din ea decurg drept consecințe: 1) faptul că o forță constantă imprimă unei mase o mișcare accelerată; 2) mărimea inerției este cu atât mai mare cu cât forța produce asupra corpului o accelerație mai mică, deci, inerția este proprietatea generală a materiei, ca și masa, așa că trebuie să admitem o legătură între masă și inerție. Mărimea masei m reprezintă măsura inerției.

Putem folosi relația (2a) pentru a defini unitatea de măsură pentru forță. În adevăr, în sistemul CGS se definește ca unitate derivată pentru forță: dina. Dina este forța care, aplicată unui corp cu masa de un gram, îi dă o accelerație de 1 cm/s^2 .

Deci: $1 \text{ dină} = 1 \text{ g} \times 1 \text{ cm/s}^2$.

3. LEGEA A TREIA A DINAMICII. ACȚIUNE ȘI REACȚIE

Legea a treia a lui Newton arată că influența corpurilor care duce la schimbarea stării de mișcare are un caracter de reciprocitate: dacă un corp A acționează asupra unui corp B cu o forță F_1 , atunci corpul B va acționa și el asupra corpului A cu o forță F_2 , egală și de sens contrar cu F_1 .

$$F_2 = - F_1$$

Această lege se numește legea acțiunii și a reacției. Trebuie să accentuăm că forțele F_1 și F_2 sînt aplicate la corpuri diferite, adică la acele corpuri care exercită forța, și deci se influențează în acest caz reciproc.

4. FORȚE

Forța este o mărime vectorială. Spre deosebire de mărimile scalare, caracterizate numai prin valoarea lor numerică (masa, volumul, timpul, densitatea etc.), mărimile vectoriale sînt mărimi dirijate. Forța este definită prin mărimea, direcția, sensul și punctul ei de aplicație. Reprezentarea se face printr-un segment de dreaptă a cărui lungime este proporțională cu mărimea forței pe care o reprezintă; segmentul este orientat prin direcție și sensul este indicat de virful de săgeată al segmentului, celălalt capăt reprezentînd punctul de aplicație.

5. MĂSURAREA FORȚELOR. DINAMOMETRIE MEDICALĂ

Forța, mărimea fizică definită prin legea a doua a dinamicii, se poate măsura prin două metode: prin metoda dinamică și prin metoda comparației, sau statică.

Metoda dinamică de măsurare aplică expresia fundamentală $f = m \cdot a$. Se măsoară masa corpului în grame și se determină accelerația căpătată de acest corp sub acțiunea forței, în cm/s^2 , iar produsul obținut este însăși valoarea forței exprimată în dine. Metoda este foarte precisă, dar este greoaie în aplicarea practică, deoarece, cerînd o precizie înaltă în măsurare, operația durează mult și trebuie repetată de mai multe ori pentru a se obține o medie cât mai apropiată de realitate.

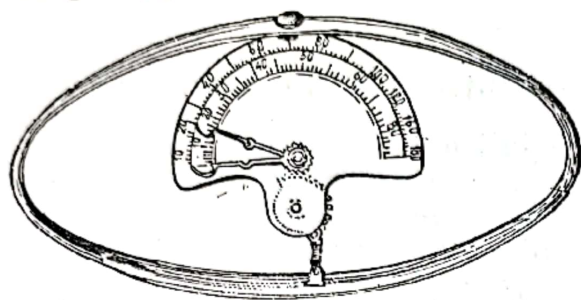
De aceea, în practică se măsoară forțele printr-o metodă statică, comparînd forța care trebuie măsurată cu o altă forță luată ca unitate de măsură. Metoda este cunoscută sub numele de dinamometrie.

Principiul pe care se bazează dinamometria constă în proprietatea pe care o au corpurile elastice de a suferi anumite deformații temporare, numite deformații elastice.

Dinamometrul este un aparat construit dintr-un arc spiral sau dintr-o lamă de oțel, astfel încât poate suferi o deformare mai mare sau mai mică, după mărimea forței care acționează asupra lui. Dacă încetează acțiunea forței, arcul sau lama de oțel revin la forma inițială.

Etalonînd acest aparat cu forțe alese arbitrar, dacă vom face să lucreze asupra lui o forță *C* care îi va da o anumită deformare elastică, vom spune că forța *C* este egală cu forța cunoscută *A*, care a dat și ea aceeași deformare aparatului.

Dinamometrele sînt gradate prin comparație. Mărimea forței măsurate se exprimă prin numărul care arată de cîte ori deformăția (de exemplu, alungirea) produsă de această forță este mai mare decît cea produsă de unitatea de forță cu care s-a etalonat dinamometrul. Dinamometrele sînt de construcție foarte variată.



a — presiune; b — tracțiune.

Fig. 14 — Dinamometrul — elipsă.

Dinamometrele medicale sînt folosite în diferitele ramuri ale medicinei; ele servesc la determinarea forței diferiților mușchi, fie în condiții normale, fie în cazuri patologice.

Medicul școlar, medicul sportiv, medicul militar, utilizează dinamometrele pentru a evalua forța musculară a elevilor, studenților,

atleților, soldaților. În serviciile de neurologie, dinamometrul este folosit pentru măsurarea integrității nervilor motori.

Dinamometrul medical cel mai mult folosit în clinică are formă de elipsă (fig. 14). Acesta este un aparat mic de oțel, în formă de elipsă, pe care subiectul îl strînge în mînă după direcția axei mici. În dreptul uneia din extremitățile axei mici este fixată o placă de formă circulară, semicirculară sau de sector circular, care poartă diviziunile necesare. În fața ei se poate mișca un ac indicator care este solidar cu o roțiță dințată; această roțiță se angrenează cu un cadran de asemenea dințat, articulat cu o lamă metalică fixată la elipsa de oțel, așa cum se vede în figură. Stringînd dinamometrul în mînă, elipsa se turtește de-a lungul axei mici; lama metalică pune în mișcare cadranul dințat, care mișcă roțița dințată, și deplasează astfel indicatorul în fața sectorului circular gradat.

Această deplasare arată efortul maxim făcut de mînă. Cum însă acest efort durează foarte puțin timp și nu poate fi observat cu precizie, aparatul este astfel construit încît acul indicator rămîne la poziția maximă chiar după ce efortul muscular încetează. La dinamometrul medical sovietic, acul indicator se deplasează numai înainte și rămîne la indicația maximă, așa că, după determinare, acul este readus cu degetul la poziția inițială pentru ca să se poată face o nouă determinare.

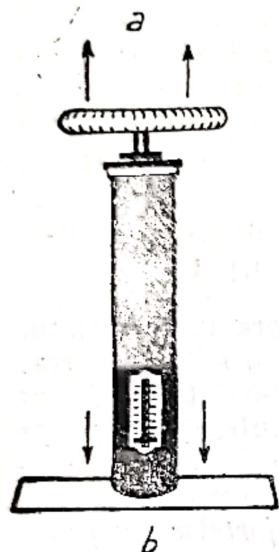
Alte modele de dinamometre medicale de aceeași formă au, în afară de acul mișcat de angrenaj, și un alt ac indicator, care circulă liber și poate fi împins de primul ac, rămînînd la poziția maximă după ce acul indicator se retrage la încetarea compresiunii.

Dinamometrul se gradează în kilograme forță. După o întrebuintare mai îndelungată, deoarece în afară de deformările elastice ale arcului se produc și se acumulează și deformări plastice (permanente), gradațiile nu mai corespund etalonării, așa că dinamometrele trebuie verificate periodic, introducîndu-se corecțiile necesare.

Prin strângerea dinamometrului în mână, deci prin presiunea asupra axei mici a elipsei, se măsoară forța mușchilor flexori ai antebrațului.

Adaptându-se două minere de tracțiune, de-a lungul axei mari a elipsei, se poate măsura forța mușchilor scapulari. Aceste minere se mai pot adapta pentru tracțiune pe direcția axei mici, dar această tracțiune trebuie făcută astfel încât să corespundă compresiunii pe care am descris-o mai sus, adică fiecare mână să tragă de lama opusă, realizând astfel prin tracțiune o compresiune a axei mici a elipsei.

Dacă se adaptează de-a lungul axei mari a elipsei două lanțuri de lungime convenabilă, terminate cu două minere, și subiectul ține un minier cu picioarele pe sol, iar cu mâinile trage celălalt minier în sus, se măsoară prin deformarea elipsei forța lombară a mușchilor extensori



a — tracțiunea cu mâinile;
b — apăsarea cu picioarele.
Fig. 15 — Dinamometru lombar.

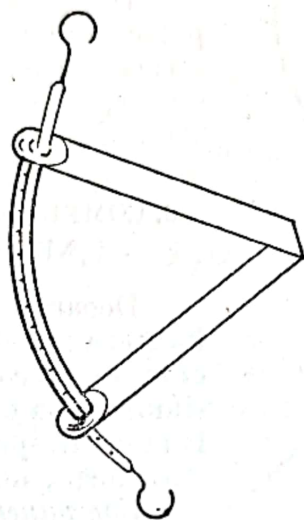


Fig. 16 — Dinamometru în formă de V.

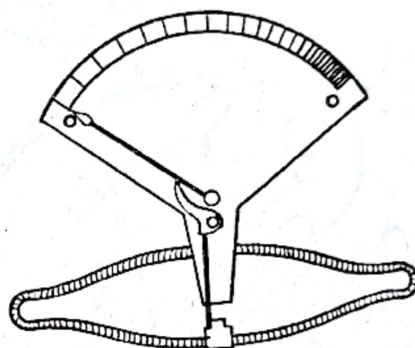


Fig. 17 — Dinamometru medical.

ai trunchiului, adică forța masei de mușchi sacro-lombari și dorsali. Pentru tracțiunea de-a lungul axei mari a elipsei se află pe placa de diviziuni a aparatului un al doilea rând de diviziuni, etalonate pentru deformarea elastică produsă în aceste condiții.

În medicina sportivă este folosit un dinamometru lombar, construit dintr-un cilindru de metal prevăzut cu două tălpi și în care se află un arc spiral de oțel, fixat la partea superioară și liber la cea inferioară. De partea liberă este sudată o vergea care străbate prin arc, trecând în sus, și care se termină cu un minier. Prin fixarea aparatului pe sol (cu picioarele aplicate pe tălpile aparatului) și prin tracțiunea în sus de minier, resortul se scurtează deci suferă o deformare elastică prin compresiune, deplasând un indice în fața unei tăblițe gradate prin comparație (fig. 15).

Mai sînt folosite dinamometre constind dintr-o lamă elastică de oțel îndoită în formă de V (fig. 16), altele în formă de cerc neînchis, cu două minere, de strîns în mână, altele în formă de minier despicat, care deformează un arc elastic (fig. 17 și 18); de asemenea se construiesc dinamometre suspendate, prinse în perete etc., pentru diferitele grupe de mușchi.

În studiul morfologiei și fiziologiei se întrebuintează dinamometre musculare care măsoară contracția mușchilor în diferite împrejurări.

În tehnică sînt folosite dinamometrele pentru măsurarea tracțiunii vehiculelor, animalelor, motoarelor, a rezistenței la tracțiune etc. Construite

pe același principiu al deformației elastice, dinamometrele care servesc pentru măsurarea unor forțe mari, ce întrec limita de elasticitate a oțelului, sînt construite pe baza compresibilității lichidelor, care sînt și ele elastice și compresibile.

Un dinamometru de mare sensibilitate este aparatul cunoscut sub numele de balanța de torsiune. Ea constă dintr-un fir foarte subțire (de argint, de bronz fosforos sau de cuarț) care se răsuțește sub acțiunea unei forțe. Cu un asemenea aparat, avînd firul de 1μ , se obține o sensibilitate de o zecime de milionime de gram.

După cum se va vedea mai departe, dinamometrul servește sub forma cea mai simplificată și drept cîntar, pentru determinarea greutății absolute a diferitelor corpuri.

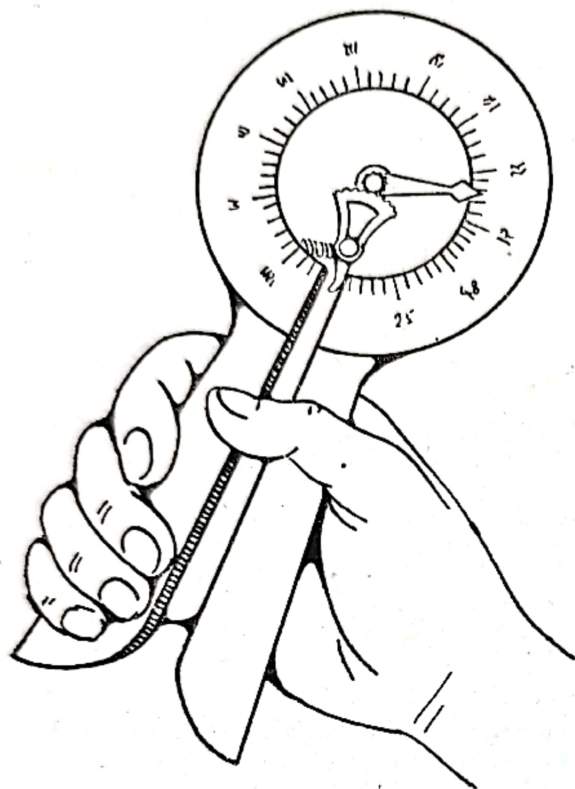


Fig. 18 — Dinamometru pentru flexorii antebrațului.

La forțele concurente se întîlnesc două cazuri: a) două sau mai multe forțe care au aceeași direcție și b) care au direcții diferite.

a) În cazul forțelor concurente cu aceeași direcție, rezultanta este suma algebrică a forțelor componente:

$$R = F_1 + F_2 - F_3 \pm \dots$$

b) Dacă forțele concurente fac între ele unghiul α , ele se compun după regula paralelogramului forțelor (fig. 19). În cazul special a două forțe perpendiculare, rezultanta fiind diagonală dreptunghiului și ipotenuza triunghiului dreptunghi care are drept catete cele două forțe componente, valoarea ei va fi dată de relația cunoscută:

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2$$

de unde

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

Pentru un unghi α diferit de 90° (fig. 20), valoarea rezultantei este dată de formula trigonometrică generală

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos \alpha,$$

6. COMPUNEREA ȘI DESCOMPUNEREA FORTELOR

Deoarece asupra unui corp nu lucrează niciodată o singură forță, ci mai multe dintr-o dată, acțiunea simultană a mai multor forțe poate fi înlocuită prin acțiunea unei singure forțe, numită rezultantă.

Compunerea forțelor se poate face, ca și aceea a altor mărimi vectoriale (viteză, accelerație), în mai multe moduri: vom reaminti compunerea forțelor care au punctul de aplicație comun (forțe concurente) și cea a forțelor paralele, întîlnite mai adesea în studiile medicale.

de unde

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

Rezultanta forțelor paralele îndreptate în același sens este totdeauna egală în valoare cu suma forțelor componente. Punctul de aplicație al rezultantei variază însă cu raportul dintre mărimea celor două forțe paralele. Astfel, dacă forțele F_1 și F_2 sînt paralele și egale, rezultanta va fi aplicată la mijlocul distanței ab dintre ele (fig. 21). Dacă F_1 este de exemplu egal cu $2F_2$, atunci R va fi aplicat între F_1 și F_2 , astfel ca punctul lui de aplicație să împartă distanța ab într-un raport invers cu raportul celor două forțe.

Faptul că punctul de aplicație O al rezultantei determină pe distanța ab segmente invers proporționale (fig. 22) cu mărimile forțelor se poate reprezenta prin relația:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{D}{d} \text{ sau } F_1d = F_2D$$

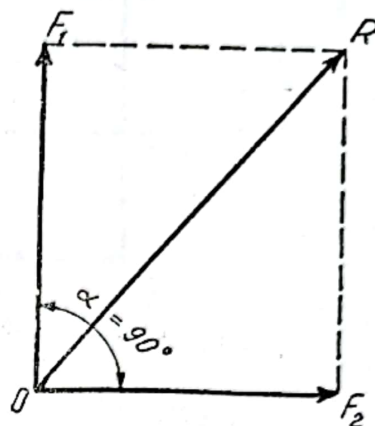


Fig. 19 — Compunerea forțelor concurente (în cazul $\alpha = 90^\circ$).

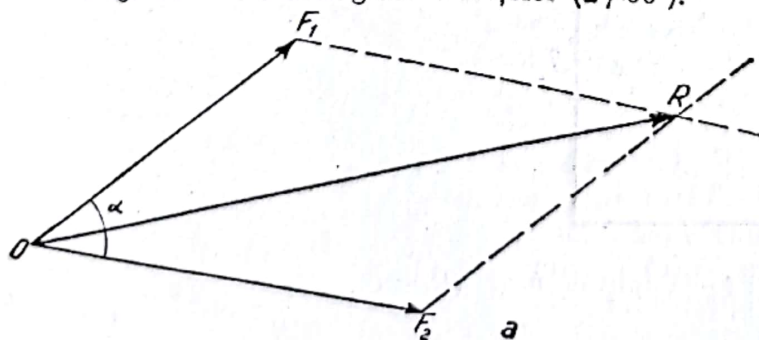
Egalitatea celor două produse dintre forța și distanța respectivă de la punctul ei de aplicație pînă la punctul de aplicație al rezultantei se verifică și în cazul cînd se compun două forțe paralele, îndreptate în sens contrar. În acest caz există un punct O exterior distanței ab , de la care avem $Oa = d$ și $Ob = D$ pentru a avea $F_2D = F_1d$. În punctul O se aplică rezultanta care este suma algebrică, deci, în acest caz, diferența dintre valorile absolute ale forțelor F_1 și F_2 .

Un caz particular al compunerii forțelor paralele este cel al celor două forțe egale, paralele și de sens contrar (fig. 23). În acest caz, $R = 0$; corpul nu se deplasează sub acțiunea acestor două forțe, ce se anulează reciproc, dar capătă o mișcare de rotație. Perechea de forțe egale, paralele și de sens contrar se numește cuplu de forță.

În cazul compunerii mai multor forțe, operația se face pe rînd mai întîi între două forțe, apoi între rezultanta acestora și forța a treia etc.

Descompunerea forțelor. Ca în toate domeniile unde se aplică legile mecanicii, și în domeniul biologiei, fiziologiei, anatomiei, precum și în construirea și manipularea aparatelor de clinică și laborator, se ivesc de multe

Fig. 20 — Paralelogramul forțelor ($\alpha \neq 90^\circ$).



Exemplu: marea pectorală lucrează asupra osului humerus în direcția AB , iar marea dorsală în direcția AC ; tracțiunea rezultantă corespunde în mărime și direcție, diagonalei $AD = R$ a paralelogramului $ABCD$.



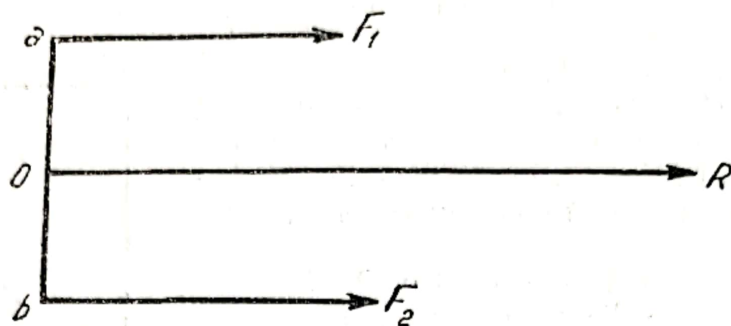


Fig. 21 — Compunerea forțelor paralele, egale și de același sens.

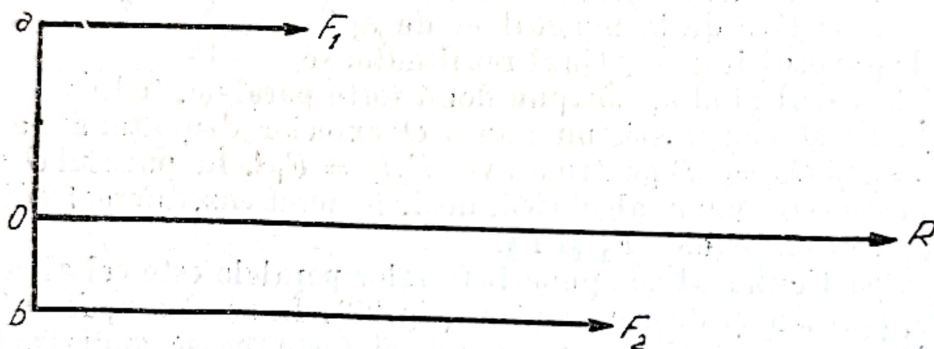


Fig. 22 — Compunerea forțelor paralele și de același sens, dar neegale.

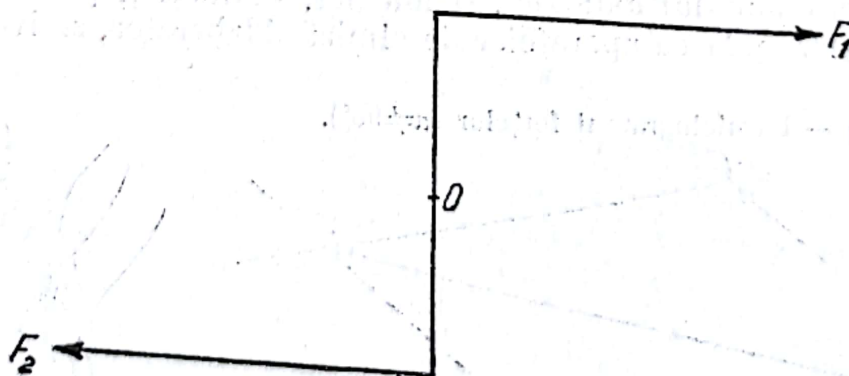


Fig. 23 — Cuplu de forțe ($R = 0$).



ori probleme în care se dă o forță rezultantă sau finală și se caută din ce forțe inițiale, componente, este alcătuită.

Pentru a putea descompune o forță în componentele sale, trebuie să avem anumite date pentru a putea determina forțele componente. Astfel, dacă exemplificăm cu un caz de forțe componente care fac între ele un unghi diferit de zero și dacă ni se dă rezultanta R , avem o infinitate de soluții pentru forțele componente F_1 și F_2 . Dacă însă ni se dau, pe lângă R , și direcțiile după care vor lucra cele două forțe componente concurente, acestea pot fi construite grafic ducându-se din punctul M paralele la cele două direcții (fig. 24). Putem de asemenea determina cele două componente dacă cunoaștem pe R și pe F_1 , precum și direcția acesteia. Unind pe F_1 cu R și ducând din O paralela la această dreaptă, avem componenta F_2 și direcția ei (fig. 25).

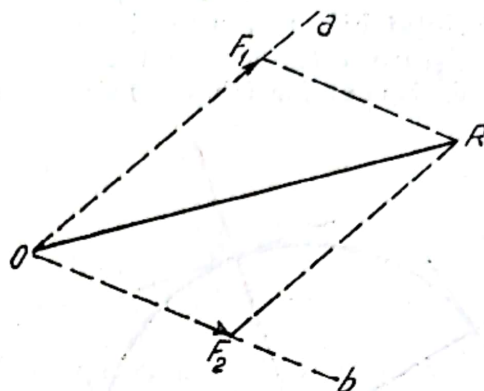


Fig. 24 — Descompunerea forței R când se cunosc cele două direcții Oa și Ob ale forțelor componente.

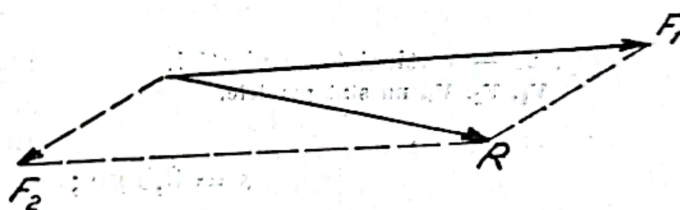


Fig. 25 — Descompunerea forței R dacă F_1 este cunoscut.

7. GRAVITATEA

a) **Definiție.** Forța pe care o exercită Pământul asupra corpurilor din jurul lui poartă numele de gravitate. Direcția, sensul și mărimea (intensitatea) gravitației se pot determina prin efectul pe care-l produce această forță, și anume prin căderea corpurilor spre Pământ.

Orice corp aflat sub acțiunea gravitației și în astfel de condiții încât să nu intervină alte forțe, de exemplu aflat în vid, cade spre Pământ. Direcția căderii în vid este verticală în locul considerat, adică perpendiculară pe un plan orizontal; acest plan este mărginit și de dimensiuni nu prea mari în locul respectiv, căci, dacă se consideră două locuri de pe Pământ, destul de depărtate între ele, se constată că verticalele lor nu sînt paralele, ci concurente, adică se întîlnesc în centrul Pământului (considerat sferic) (fig. 26).

Deci, definiția precisă este următoarea: gravitatea este forța care atrage corpurile, după direcția razei pămîntești, spre centrul Pământului. Rămîne să vedem ce fel de forță este această forță de atracție și care este valoarea ei, deci care este intensitatea gravitației.

Studiul calitativ se poate face examinînd căderea liberă a corpurilor, în vid, spre pămînt. Practic putem folosi căderea în aer a unui corp de dimensiuni mici, însă de greutate foarte mare, astfel încît rezistența din partea aerului să fie neglijabilă. Căderea acestui corp poate fi studiată, fie cu ajutorul unui plan înclinat (care, încetinind mișcarea, nu-i modifică sensibil caracterul și permite urmărirea ei), fie cu ajutorul metodei fotografiilor

successive, pe care am văzut-o întrebuințată de Marey sub numele de cronofotografie.

În adevăr, lăsînd să cadă o bilă metalică lucioasă, luminată, și fotografiind cu un aparat cu obturator periodic, vom regăsi pe placă, după dezvoltare și fixare, imaginea bilei în poziții diferite, care corespund unor intervale de timp egale. Măsurînd distanța dintre pozițiile succesive de pe fotografie, vom constata că ele sînt proporționale cu pătratul timpului pe care l-a întrebuințat bila pentru a ajunge în punctul respectiv, ceea ce arată că această mișcare este accelerată.

Căderea corpurilor fiind o mișcare accelerată, gravitatea care produce această cădere este o forță constantă, fiindcă numai o forță constantă produce o mișcare accelerată.

Gravitatea fiind o forță, are expresia generală:

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

În cazul special al gravitației, accelerația se numește *accelerația gravitației* și se notează cu litera g . Deci, expresia forței gravitației devine

$$F = m \cdot g \quad (2)$$

iar ecuațiile spațiului, vitezei și accelerației în căderea corpurilor în vid sînt:

$$s = 0,5 \, g t^2; \quad (3)$$

$$v = g t;$$

$$a = g.$$

În vid g are aceeași valoare pentru toate corpurile care cad în mod liber în același loc de pe Pămînt, și variază în raport invers cu distanța locului de centrul Pămîntului.

Pămîntul nu este un glob sferic, ci are forma unui elipsoid de revoluție, cu axa polilor mai mică decît axa ecuatorului. Un corp cade deci cu o accelerație mai mare la poli decît la ecuator, deoarece este atras de o forță mai mare, distanța de la pol fiind mai mică pînă la centrul Pămîntului decît cea de la ecuator.

Pentru aceleași motive, pe un munte foarte înalt, accelerația în căderea liberă este mai mică decît la nivelul mării, chiar dacă această mare se află în vecinătatea imediată a muntelui respectiv.

b) Intensitatea gravitației se calculează după formula

$$F = m \cdot g$$

Experimentînd cu un corp oarecare, în vid, în condiții perfecte, vom constata că el capătă diferite accelerații în diferite locuri. Introducînd această accelerație în formula fundamentală de mai sus și considerînd, pentru simplificare, masa corpului egală cu un gram, vom avea valorile forței gravitației așa cum se arată în tabelul 5.

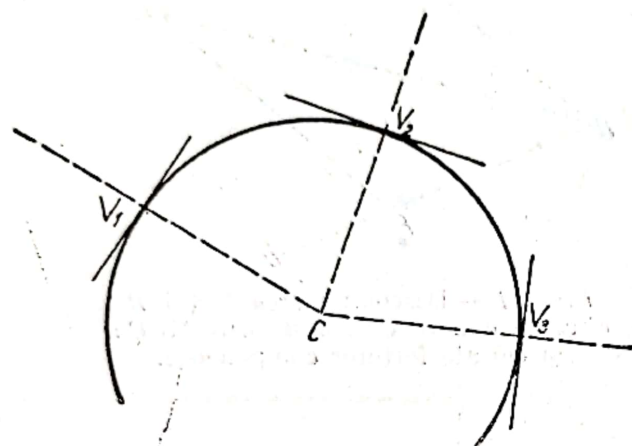


Fig. 26 — Verticalele gravitației.
 V_1, V_2, V_3 , nu sînt paralele.

Din acest tabel se vede că intensitatea gravitației se exprimă în dine prin același număr cu care accelerația căderii în vid se exprimă în cm/s^2

Tabelul 5

Locul	$g \times m = F$		
Cîteva puncte de pe glob	Accelerația gravitației (în cm/s^2) (măsurată)	Masa corpului (în grame)	Forța gravitației (în dine) (calculată)
Polul Nord	983,100	1	983,100
Leningrad	981,850	1	981,850
Moscova	981,600	1	981,600
Paris	981,000	1	981,000
Cluj	980,774	1	980,774
București	980,554	1	980,554
Ecuator	978,060	1	978,060

c) **Greutatea** este forța cu care fiecare corp este atras spre pământ. Greutatea este deci un caz particular al forței de gravitate pe care o exercită Pământul asupra tuturor corpurilor din jurul lui.

Pentru a concretiza ideile, să atîrnăm un corp de masă m de cîrligul unui dinamometru. Totdeauna, în același loc, dinamometrul va arăta pentru același corp m aceeași forță F cu care acest corp este atras spre Pământ. Dacă însă ne transportăm cu dinamometrul și cu corpul m la o latitudine sau altitudine diferită, dinamometrul arată pentru acest corp, în fiecare loc, o altă valoare a forței de atracție, adică a greutății lui. Deci, greutatea corpului nu este aceeași în diferite locuri de pe Pământ.

Legătura dintre masa unui anumit corp, care este pretutindeni aceeași, și greutatea corpului, care este în fiecare loc alta, se poate schematiza astfel: un corp de masă m este atras spre Pământ cu forța constantă a gravitației, numită în acest caz particular greutatea sa (P), și capătă astfel o accelerație, care am văzut că se numește accelerația gravitației. Deci, după formula fundamentală

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

vom avea

$$P = m \cdot g \quad (2)$$

Greutatea, fiind o forță, deci o mărime derivată, se măsoară în dine, în timp ce masa am văzut că este o măsură fundamentală care se măsoară în grame.

Greutatea masei de un gram la București, adică forța cu care Pământul atrage masa de un gram în Capitala țării noastre, reiese din formula (2):

$P = 1 \text{ gram} \times 980,554 \text{ cm/s}^2 = 980,554 \text{ dine} \approx 981 \text{ dine}$; deci, greutatea masei de un gram este de aproape 1 000 dine, iar greutatea unei mase de 1 miligram este de aproximativ 1 dină.

În practică se spune că un corp are de exemplu greutatea de 10 grame, cînd ar trebui să se spună că are greutatea unei mase de 10 grame sau, mai just, are greutatea de 10 grame-forță.

d) **Cîmp de forțe.** Spațiul în care se exercită acțiunea unei forțe se numește cîmpul acelei forțe. Spațiul din jurul Pământului în care se exercită atracția gravitației constituie cîmpul de forță al gravitației sau cîmpul gravitațional. Cîmpul de forțe reprezintă o formă specială a materiei.

Cîmpul de forțe este uniform dacă, în fiecare punct al lui, intensitatea H (forța care acționează asupra unității de masă) este constantă în mărime și direcție.

Prin definiție, intensitatea H are expresia:

$$H = \frac{f}{m},$$

unde f este forța și m este masa asupra căreia acționează forța f , care pentru gravitație are valoarea $f = m \cdot g$; eliminînd pe f între cele două expresii de mai sus, obținem $H = g$.

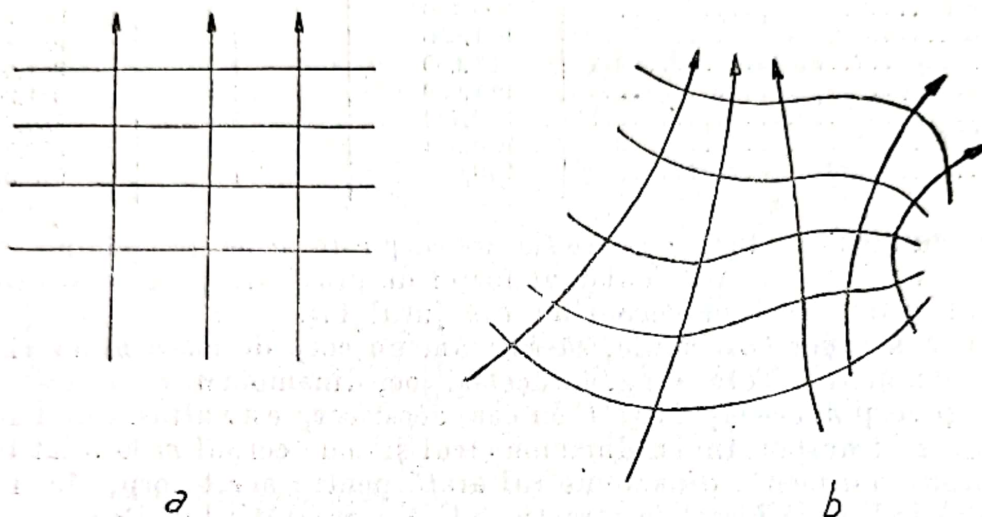


Fig. 27 — Linii de forță.

a — într-un cîmp de forțe omogen; b — în cîmp neomogen.

Intensitatea cîmpului gravitațional este deci egală numeric cu accelerația gravitației, așa cum a reieșit și din tabelul 5.

Într-un cîmp de forțe, fiecare punct este caracterizat printr-o mărime numită potențial, care reprezintă cantitatea de lucru mecanic necesară pentru a aduce unitatea de masă de la infinit (adică dintr-o regiune unde nu se mai exercită acțiunea forței) pînă în punctul dat al cîmpului de forțe.

Punctele echipotențiale formează suprafețe echipotențiale, a căror formă variază cu forma corpului care exercită forța considerată.

Deplasarea unui corp pe o suprafață echipotențială nu necesită lucru mecanic decît pentru învingerea forțelor de frecare. Trecerea unui corp de la o suprafață cu un potențial gravitațional mai mare spre alta cu un potențial gravitațional mai mic se face prin cheltuire de lucru mecanic, furnizat de intensitatea forței; acest lucru mecanic este produsul dintre diferența potențialelor celor două suprafețe echipotențiale considerate și masa corpului care se deplasează.

Traectoria unei mase care se mișcă într-un cîmp de forțe se numește linie de forță, și prin direcția ei indică, în fiecare punct al cîmpului, direcția și sensul în care se exercită forța.

Liniile de forță sînt linii normale între două suprafețe echipotențiale vecine. Într-un cîmp omogen, adică în acel cîmp care are suprafețe echipotențiale plane sau sferice, liniile de forță sînt linii drepte. Într-un cîmp neomogen, ele sînt linii curbe (fig. 27).

La suprafața pământului, liniile de forță ale câmpului gravitațional au direcția verticală, iar pentru o suprafață de întindere mai mică, aceste verticale sînt sensibil paralele între ele.

În studiul anatomiei (osteologie, miologie etc.) găsim nenumărate aplicații ale câmpurilor de forțe.

e) **Centrul de greutate.** Greutatea unui corp este rezultanta tuturor forțelor elementare, paralele pentru un corp de dimensiuni nu prea mari, care atrag acel corp spre centrul Pământului. Această rezultantă se aplică, în interiorul corpului, într-un punct numit centru de greutate.

La corpurile omogene și de formă geometrică regulată, centrul de greutate este însuși centrul geometric al corpului. Pentru orice altfel de corp, centrul de greutate se află la intersecția a cel puțin trei plane față de care se compensează momentele forțelor de gravitație (prin momentul forței înțelegîndu-se produsul dintre forță și distanța de la punctul ei de aplicare pînă la axa de rotație, așa cum se va arăta mai dezvoltat în capitolul „Statică”).

8. CENTRUL DE GREUTATE AL CORPULUI UMAN

Ca la orice corp de formă neregulată și de structură neomogenă și nerigidă, centrul de greutate al corpului omenesc nu are o poziție fixă, ci depinde de poziția corpului, a membrilor, de încărcarea lor suplimentară etc.

Pentru a se determina poziția centrului de greutate al corpului omenesc aflat în poziție verticală se determină, așa cum am arătat, trei plane perpendiculare între ele, și anume: un plan orizontal O , unul frontal F și unul median M antero-posterior. La punctul de intersecție a acestor trei plane (fig. 28) se află centrul de greutate al corpului omenesc.

a) Prin structura corpului omenesc, centrul de greutate se află în planul median antero-posterior, care este un plan de simetrie.

b) Înălțimea la care se află centrul de gravitație este cuprinsă într-un plan orizontal care, împărțind corpul în două părți de greutate egală, este un plan față de care se compensează momentele forțelor de greutate. Determinarea acestui plan a fost făcută încă în secolul al XVII-lea de Borelli, în modul următor: el a culcat un om pe spate pe o scîndură rezistentă și

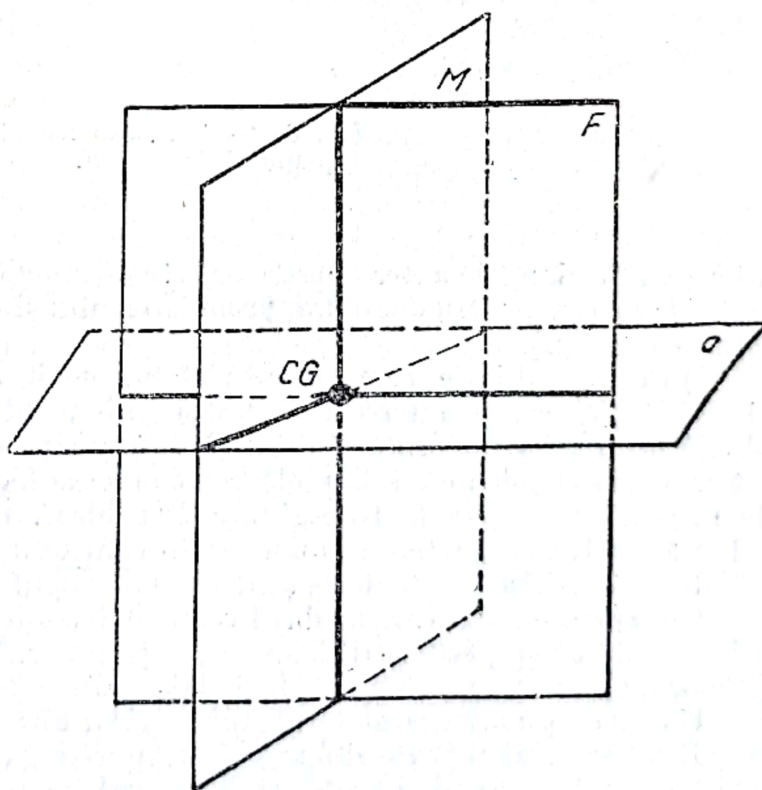


Fig. 28 — Cele trei planuri M , F , O determină prin intersecția lor centrul de greutate uman (schemă).

rigidă, de formă regulată, într-o poziție identică aceleia pe care o are omul când stă în picioare. Scîndura a fost așezată, ca pîrghia unei balanțe, pe muchia unei bare prismatice triunghiulare, căutîndu-se prin încercări succesive poziția de echilibru a sistemului scîndură-om. În momentul atingerii echilibrului, planul vertical care trece prin muchia prisme cuprinde centrul de greutate al corpului subiectului culcat pe scîndură (fig. 29). Borelli a constatat că acest plan se află între vertebra L_5 și S_1 , la o distanță de 586/1 000 din înălțimea corpului măsurat de la plante în sus. Intersecția acestui plan orizon-

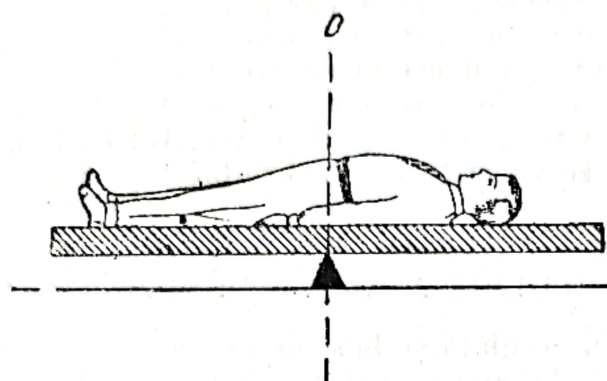


Fig. 29 — Determinarea planului orizontal O cu ajutorul planșetei.

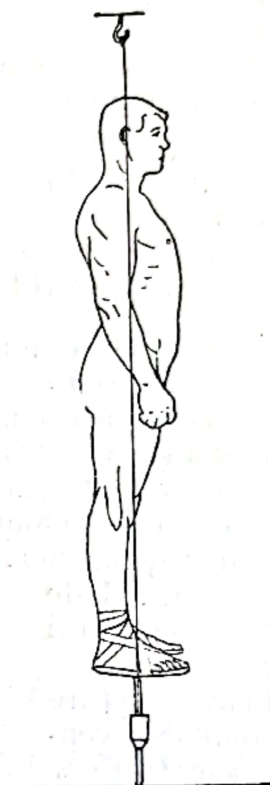


Fig. 30 — Determinarea planului frontal F .

tal cu cel de simetrie antero-posterior este o linie dreaptă care trece aproximativ la un centimetru deasupra promontoriului și cuprinde centrul de greutate al corpului.

c) Pe această linie urmează a se stabili poziția punctului de aplicație al gravitației, adică intersecția acestei linii printr-un plan frontal. Acest plan frontal a fost determinat de Richer în modul următor: un subiect încălțat cu sandale de lemn stă în picioare pe muchia îngustă de 1 cm a unei scînduri așezate transversal, frontal față de subiect. În aceste condiții, subiectul este obligat, pentru a putea sta în echilibru pe muchia scîndurii, să adopte o poziție astfel încît să-și mențină centrul de greutate pe verticala care trece prin scîndură. Echilibrul vertical al subiectului, identic cu poziția lui normală pe sol, este realizat prin sprijinirea sa cu mijlocul tălpilor sandalelor de lemn pe muchia scîndurii (fig. 30).

Un fir cu plumb așezat în planul vertical al scîndurii se proiectează pe corpul subiectului și poate fi fotografiat împreună cu el pentru o examinare mai amănunțită. Firul și proiecția lui pe subiect alcătuiesc planul vertical, care conține și scîndura, adică tocmai planul frontal care cuprinde centrul de greutate al subiectului studiat. Planul frontal astfel determinat cuprinde centrul de greutate în timpul staționării verticale. Acest plan trece prin

tragus (mijlocul pavilionului urechii), înapoia articulației coxo-femorale, în fața genunchiului și a articulației tibio-tarsiene.

Centrul de greutate al corpului omenesc se află deci în punctul în care se întretaie acest plan frontal cu linia de intersecție a celorlalte două planuri menționate.

Poziția centrului de greutate se modifică la orice modificare a poziției membrilor. De altfel, chiar dacă corpul este, în aparență, în repaus, centrul de greutate se deplasează totuși permanent, datorită respirației și circulației.

Prin încovoierea corpului se poate obține o poziție particulară a centrului de greutate (fig. 31). Astfel, așezînd scîndura de-a lungul, pe muchia prisme de sprijin, corpul subiectului fiind așezat încovoiat, după cîteva încercări, obținem echilibrul. Centrul de greutate al corpului nu se află, în acest caz, în corp, ci în sistemul scîndură-corp, în locul însemnat cu X pe fig. 31.

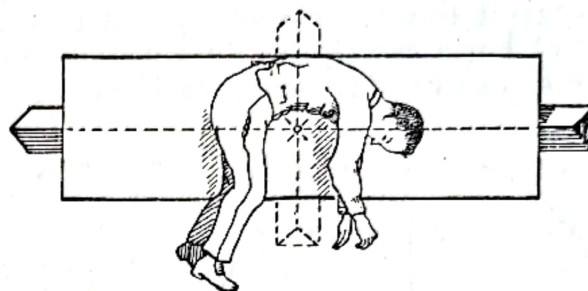


Fig. 31 — Centrul de greutate în cazul corpului încovoiat.

În ce privește centrele de greutate ale fiecăruia dintre membre sau segmente mari de corp, acestea se determină pe cadavru congelat.

În cădere sau în orice altă mișcare, legile mișcării respective se aplică și pentru mișcarea centrului de greutate.

Poziția centrului de greutate nu poate fi modificată prin forțele interne care acționează între diferitele părți ale corpului. Astfel, la o pisică în cădere, centrul de greutate urmează legea căderii libere; prin forțe interne, în acest caz prin forța musculară, animalul nu poate modifica cu nimic această cădere. Cu toate acestea, animalul poate face în aer, în timpul căderii, flexii și torsiuni care fac ca el să cadă aproape totdeauna în picioare.

La fel, la un sportiv care sare un obstacol, săritura poate fi considerată ca fiind a centrului de greutate; forțele musculare ale sportivului, deși nu pot modifica legea mișcării în săritură, totuși dau diferite mișcări corpului în cădere. Un săritor antrenat trage picioarele cît mai sus și deseori corpul se rostogolește, se rotește și alunecă peste obstacol înainte de a atinge solul.

9. ACȚIUNEA GRAVITAȚIEI ASUPRA ORGANISMELOR

Această acțiune se observă mai ușor la plante. Faptul că, oricare ar fi poziția unui grăunte semănat în pămînt, rădăcina sa se curbează și pătrunde vertical în pămînt, iar tulpina se ridică de asemenea vertical, a fost atribuit unei efect al gravitației numit *geotropism*.

În adevăr, dacă așezăm orizontal o plantă la începutul dezvoltării ei, rădăcina și tulpina vor relua după cîtva timp poziția lor normală, după verticală. Faptul că această poziție este în legătură cu forța gravitației se poate dovedi așezînd planta la marginea unui disc circular orizontal care se află în rotație. Cînd rotația este înceată, și deci forța centrifugă este mică, creșterea plantei nu este influențată de această forță centrifugă, și rădăcina continuă să crească vertical. Dacă însă rotația discului se face foarte repede, forța centrifugă întrece forța gravitației și planta se dezvoltă în poziție orizontală: rădăcina se îndreaptă spre exterior, adică spre zona de forță centrifugă maximă, iar tulpina spre interior, spre regiunea cu forță centrifugă mai mică.

Geotropismul se studiază cu oarecare greutate, din cauză că face parte dintr-un complex de fenomene suprapuse care influențează fiecare în alt mod creșterea plantelor. Lumina, căldura, gradul de umiditate, modifică și uneori acoperă acțiunea geotropică în decursul studierii acestor fenomene.

10. FORȚA CENTRIPETĂ ȘI FORȚA CENTRIFUGĂ

Am descris cinematica mișcării circulare și am arătat care sînt elementele acestei mișcări: viteza unghiulară și viteza liniară, spațiul unghiular și spațiul liniar, perioada și frecvența.

a) **Forța centripetă.** Spre deosebire de mișcarea uniformă și rectilinie, care se execută fără intervenția vreunei forțe, mișcarea circulară uniformă necesită în orice moment intervenția unei forțe.

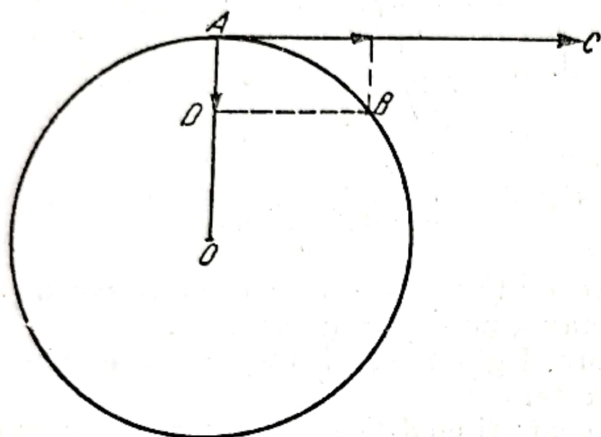


Fig. 32 — Compunerea mișcării tangențiale cu cea centripetă, în fiecare moment.

În adevăr, pentru ca un mobil să descrie o mișcare circulară uniformă, trebuie ca asupra acestui mobil să acționeze în permanență o forță constantă. În momentul în care încetează acțiunea acestei forțe, mobilul părăsește traiectoria circulară și își continuă mișcarea în virtutea inerției, în direcția tangențială AC la cercul descris (fig. 32), făcînd o mișcare rectilinie și uniformă. Prin faptul că mobilul, în loc să ajungă în C, ajunge în punctul B, mai apropiat de centrul de miș-

care O decît punctul C, înseamnă că în decursul intervalului de timp t a intervenit o forță AD care a modificat caracterul mișcării. Această forță normală la cerc și îndreptată spre centrul cercului, care face ca mobilul să execute o mișcare circulară și uniformă, se numește **forță centripetă**.

Dacă însă mobilul ar fi supus numai acțiunii forței centripete, el ar porni spre centrul O, pe o traiectorie rectilinie. Mișcarea circulară se face în-tocmai, fiindcă asupra mobilului acționează o altă forță, rezultat al inerției.

Compunînd mișcarea datorită forței centripete și care este îndreptată spre centru cu mișcarea datorită inerției, care este tangențială la cerc, se obține într-un timp elementar Δt o mișcare rezultantă rectilinie AB, care poate fi confundată cu arcul de cerc respectiv. Deci, mișcarea circulară este rezultanta mișcărilor centripete și inerțiale în fiecare moment.

b) **Forța centrifugă.** Datorită mișcării circulare și în timpul ei, apare o forță care are sensul opus celei centripete și are aceeași mărime. Ea poate fi considerată ca o reacție a forței centripete, fiindcă, tot timpul îndepărtează mobilul de centrul de mișcare tot atît cît îl apropie forța centripetă; această forță se numește **forță centrifugă**.

Forța centripetă și cea centrifugă, care lucrează după legea a treia a lui Newton, sînt aplicate la două corpuri diferite: de exemplu, în mișcarea Pămîntului în jurul Soarelui, forța centripetă este aplicată Pămîntului, iar forța centrifugă este aplicată Soarelui.

Valoarea forței centrifuge este egală cu cea a forței centripete și se poate calcula în mod simplu pe calea următoare:

Pe cercul O (fig. 33), mobilul M este supus forței centripete, care, fiind constantă, imprimă acestui mobil o mișcare accelerată. Ecuația spațiului în această mișcare are deci expresia:

$$s = 0,5 \gamma t^2,$$

unde γ este accelerația centripetă. În timpul foarte scurt t , mobilul M descrie arcul de cerc $MM' = r \omega t$, care, dacă este destul de mic, poate fi înlocuit cu coarda lui. Ducând în cerc și diametrul ($2r$) din M și coarda $M'D$, obținem un triunghi dreptunghi $MM'D$, în care cateta MM' este medie proporțională dintre ipotenuza ($2r$) și proiecția ei MB pe ipotenuză ($0,5 \gamma t^2$).

Deci $MM'^2 = MB \times 2r$

sau $r^2 \omega^2 t^2 = 0,5 \gamma t^2 \times 2r$,

de unde

$$\gamma = r \omega^2, \quad (1)$$

ceea ce înseamnă că accelerația centripetă în mișcarea circulară uniformă se exprimă prin produsul dintre rază și pătratul vitezei unghiulare.

Înlocuind în formula generală

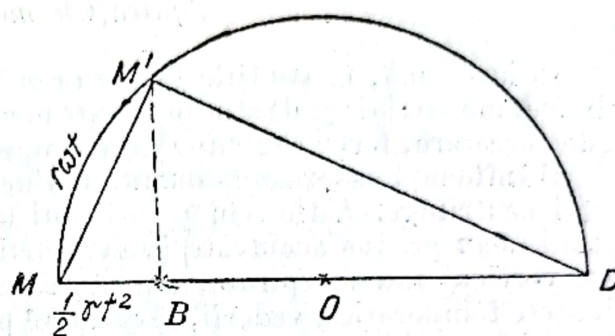


Fig. 33.—Demonstrarea valorii forței centrifuge.

$$F = m.a$$

accelerația a cu valoarea $r \omega^2$ a accelerației centripete γ obținută din (1), avem:

$$F = mr\omega^2 \quad (2)$$

care reprezintă valoarea forței centripete.

Aceeași expresie reprezintă și forța centrifugă, care este egală în mărime cu cea centripetă, având numai semnul schimbat.

Verificarea experimentală a legii care exprimă forța centrifugă se face cu ajutorul diferitelor dispozitive puse în rotație și în care cu ajutorul forței centrifuge dezvoltate se verifică cei trei parametri m , r , ω . Se poate arăta intuitiv că forța centrifugă apare numai în timpul rotației și că este proporțională cu pătratul vitezei unghiulare, cu distanța de centrul de rotație și cu masa mobilului.

În mișcările circulare ale mașinilor și în dispozitivele de laborator se ține seamă de viteza unghiulară ω . Dar, în transporturile terestre și în aviație, vitezele se măsoară liniar chiar dacă mișcarea este curbilinie. În acest caz apare nevoia de a referi forța centrifugă și la viteza liniară ($v = r \omega$).

În expresia

$$F = m \omega^2 r,$$

dacă înlocuim viteza liniară cu valoarea ei $\omega = v/r$, vom avea

$$F = m \frac{v^2}{r},$$

de unde reiese că forța centrifugă depinde de masa corpului în mișcare, de pătratul vitezei liniare și este, în acest caz, invers proporțională cu raza mișcării.

Aplicații generale

În tratatele de fizică generală sînt descrise numeroasele aplicații ale forței centrifuge. Existența acestei forțe explică de ce diametrul Pămîntului este mai mare la ecuator decît la pol, arată folosirea unor reglatori mecanici centrifugali pentru presiunea aburului, indică folosirea centrifugării betonului pentru fabricarea unor stîlpi cilindrici de beton, pentru separarea untului, mierii, zahărului etc.

Aplicațiile medicale

În medicină, în studiile legate de medicină și biologie și în domeniile tehnice, industriale și de studiu în care medicul își duce munca sa profesională și de cercetare, forța centrifugă are numeroase și variate aplicații.

a) **Influența asupra organismului.** Unele boli și traumatisme sînt datorite forței centrifuge. Astfel, în primii ani ai aviației, la începutul secolului actual, s-au produs accidente la aviatorii care făceau zboruri acrobatice în cerc vertical sau în spirală, cu viteză mare: unii dintre ei sufereau de o pierdere temporară a vederii, care apare pe o anumită parte a cercului străbătut și dispăre la revenirea în poziție normală.

Experiența celor cinci decenii de cînd există aviația a arătat că corpul omenesc poate suporta orice viteză cît timp avionul nu-și schimbă direcția. În zborurile curbilinii, forța centrifugă, care am arătat că este cu atît mai mare cu cît viteza liniară este mai mare și cu cît raza este mai mică, dacă pilotul ar sta pe un cîntar dinamometric, acesta ar indica o greutate dublă sau triplă a corpului aviatorului.

Această cifră, care depinde de viteza din momentul schimbării direcției, se numește *greutatea multiplă* a corpului, și se notează $2g$, $3g$... ng .

Experiența a arătat că un aviator în zbor curbilin poate suporta în direcția picioare-cap o forță centrifugă de $3g$, în direcția cap-picioare $5g$, prin ghemuire $7-9g$ și, în sfîrșit, în direcția spate-piept, pînă la $15g$.

Într-un avion în picaj, cu o viteză de 600 km/oră , redresat de pilot într-un arc de cerc cu raza de 500 m sau într-un viraj cu aceeași rază, aviatorul este supus unei forțe centrifuge de $5g$. În aceste cazuri apare fenomenul de pierdere temporară a vederii, și aviatorul neantrenat își poate pierde chiar cunoștința. Aceste fenomene sînt datorite dezechilibrului din aparatul circulator; forța centrifugă îndreptînd sîngele spre picioare, venele se destind și o mare parte din sînge este gonit temporar în picioare, așa că celelalte regiuni nu mai sînt irigate suficient, cităva vreme. Pe măsură ce forța centrifugă crește, circulația sanguină devine tot mai dificilă și apar fenomenele amintite: tulburări de vedere și de cunoștință. La redresarea avionului, fenomenele au loc în sens invers, și aviatorul revine la starea normală.

Antrenamentul face ca organismul să se adapteze, creîndu-și reflexe de adaptare prin compensare cardiacă etc.

O altă acțiune a forței centrifuge în aviație a fost traumatizarea mecanică, propriu-zisă. Aviatorul stînd în picioare și făcînd zbor în cerc, în timpul exercitării forței centrifuge, presiunea enormă a corpului ($5g$) asupra picioarelor a produs de multe ori fisuri și chiar fracturi în oasele piciorului. În fig. 34 se arată schematic pozițiile convenabile în care aviatorul poate suporta greutatea multiplă datorită forței centrifuge.

În decursul dezvoltării aviației s-au vădit necesare o serie de măsuri privind aviatorul și altele privind construcția avionului. Astfel, pentru întărirea corpului se dă aviatorului o hrană bună și i se bandajează picioarele și abdomenul. Ca măsuri mecanice de prevenire a efectului presiunii exercitate de forța centrifugă, scaunele sînt montate pe arcuri, cu suspensii cardanice și au astfel de dimensiuni și forme încît, permițînd aviatorului o poziție comodă, îi dau în același timp o distanță între cap și picioare cît se poate de mică.

b) Centrifuga. Centrifuga este un aparat care nu poate lipsi din laboratorul medical, din clinică, din cel de cercetări, de igienă, precum și din multe industrii alimentare, chimice, de materiale de construcție etc.

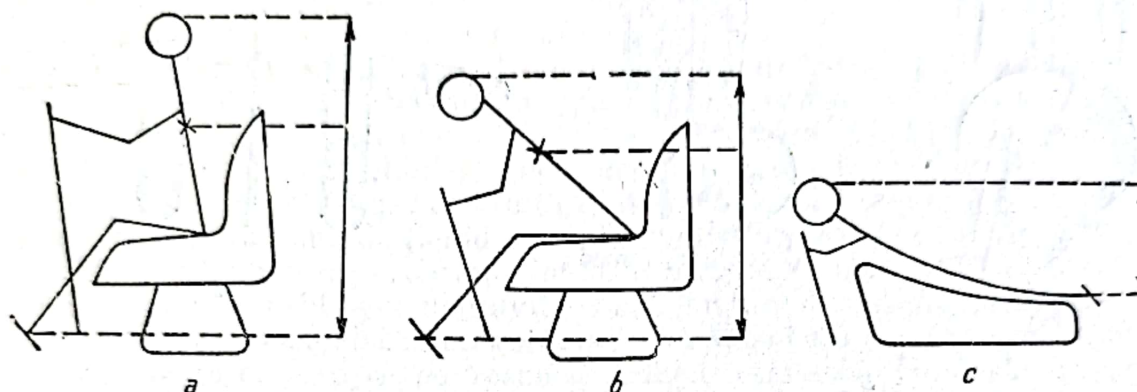


Fig. 34 — Pozițiile convenabile în care aviatorul poate suporta greutatea multiplă datorită forței centrifuge.

Centrifuga de laborator, în forma ei cea mai simplă (fig. 35), este alcătuită dintr-un ax vertical care se poate roti, fie cu ajutorul unei manivele mișcată cu mîna, fie cu ajutorul unui motor electric. Centrifuga manuală face pînă la 3 000 de rotații/minut, iar cea electrică pînă la 12 000 rotații/minut. Pe axul vertical este fixat un dispozitiv orizontal pe care sînt prinse una sau mai multe perechi de eprubete (cupe) metalice, care pot oscila în plan vertical. În aceste eprubete se introduc eprubetele de sticlă în care avem suspensiile ce urmează a fi centrifugate.

Cînd centrifuga se învîrtește, eprubetele descriu o traiectorie circulară și sînt supuse forței centrifuge. Dar, în timp ce, la gura eprubetelor, forța centrifugă este anulată de rezistența suportului, la capătul liber ea lucrează și aduce eprubetele în poziție orizontală.

Lichidele supuse centrifugării fiind de obicei suspensii de particule solide, de greutate specifică mai mare decît cea a lichidului care alcătuiește mediul de dispersie, aceste particule de masă mai mare sînt supuse unei forțe centrifuge mai mari și sînt astfel proiectate spre periferia mișcării, adică spre fundul eprubetelor, ce se rotesc orizontal. Se produce o sedimentare rapidă, care nu s-ar fi putut obține decît într-un timp îndelungat prin simpla lăsare în repaus a suspensiei pentru ca sedimentarea să se facă în mod natural, datorită diferenței de densitate. Centrifugarea se face în cîteva minute. Separarea lichidului de deasupra, de sedimentul de la fund, se face prin decantare. Se scoate apoi pe o lamă sedimentul, care urmează să fie examinat la microscop.

Într-o centrifugă cu 6 000 rotații/minut (fig. 36), o particulă de 0,1 mg aflată la 20 cm de axul de rotație este proiectată spre fundul eprubetei cu o forță de 800 dine, adică de 8 000 de ori mai mare decît greutatea particulei.

În laboratorul medical se centrifughează urina, iar sedimentul se examinează la microscop pentru identificarea elementelor figurate anorganice (cristale, săruri) sau organice (celule, singe, puroi etc.).

La singe, pentru determinarea volumului total al eritrocitelor, se face centrifugarea cu ajutorul unui aparat numit *hematocrit*; acest aparat este format din două capilare gradate de la 1 la 100, în care se aspiră singe și care se fixează într-un dispozitiv special pe axul centrifugii. Dând centrifugii o turație de 3 000—4 000 rot./min, forța centrifugă dezvoltată în eritrocite,

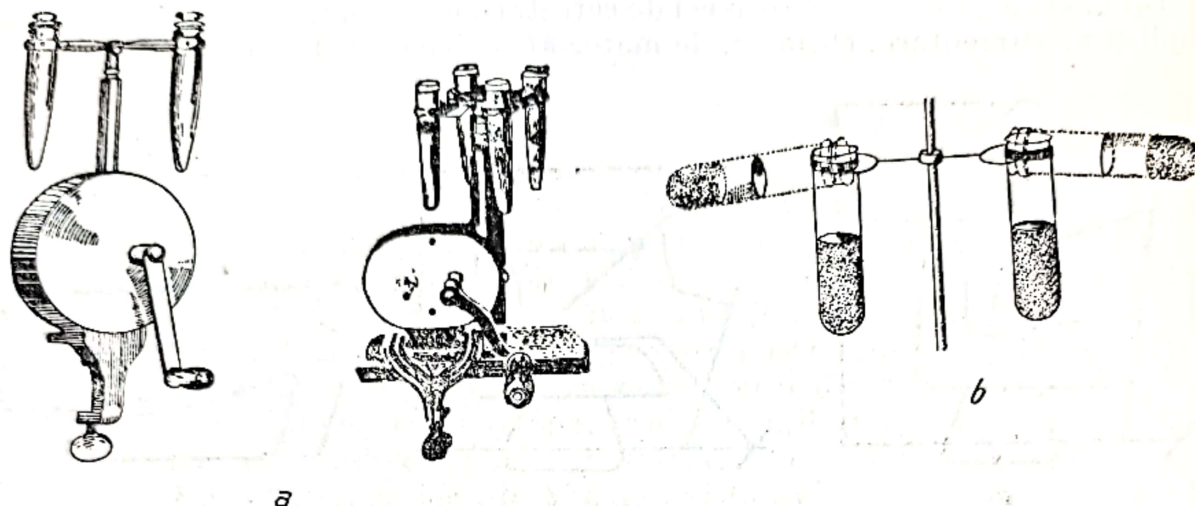


Fig. 35 — Centrifuga de laborator.

a — poziția eprubetelor în timpul centrifugării; b — centrifuge de mână cu 2 și cu 4 eprubete.

care au o greutate specifică mai mare decât a plasmei, le proiectează spre exteriorul tubului capilar. După o centrifugare de 10—15 minute se poate observa volumul eritrocitelor, care au în general 42—45 % din volumul total al singelui.

Se mai centrifughează singele pentru separarea plasmei și a serului.

În instituțiile pentru conservarea singelui și prepararea plasmei uscate

se întrebuintează centrifugarea asociată cu evaporarea în vid.

În bacteriologie se supun centrifugării unele culturi pentru ca, prin eliminarea unei părți de lichid, concentrarea în microbi să crească. În lucrări de parazitologie se centrifughează suspensiile coprologice pentru a se separa și identifica ouăle de paraziți în fecale.

În industria alimentară, centrifugele sînt folosite pentru separarea mierii din

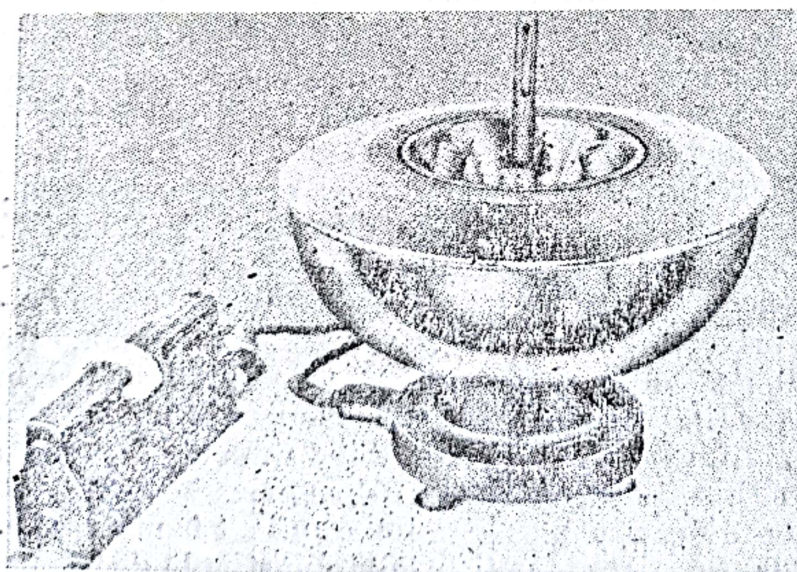


Fig. 36 — Centrifugă blindată acționată cu motor electric; manipulînd reostatul, se poate obține o viteză de 3 000 rotații pe minut.

fagure, a cristalelor de zahăr din melasă, a untului din lapte, la fabricarea amidonului etc.

Forțele mari dezvoltate în sistemul care se rotește cer ca manipularea centrifugii să se facă cu luarea măsurilor de precauție necesare. Pentru evitarea accidentelor care s-ar putea produce prin ieșirea eprubetelor din articulații sau prin spargerea eprubetelor și răspândirea conținutului lor, care poate conține agenți patogeni, se blindează centrifuga, introducând-o într-o cutie metalică cu capac (fig. 36). De asemenea, pentru ca la oprirea centrifugii să nu se provoace reproiectarea sedimentului în lichid, din cauza curenților din eprubetă, centrifuga este astfel construită ca eprubetele să nu atingă poziția orizontală în mișcarea lor de rotație, ci ele să fie oprite la $60-70^\circ$. Oprirea centrifugii se face treptat, fie prin manipularea reostatului motorului electric, fie încetinind mișcarea manivelei.

Pentru sedimentarea fazei dispersate din soluțiile coloidale unde particulele sînt foarte mici (1—100 milimicroni), și deci au masa foarte mică, au fost construite centrifuge cu raza de mărimea maximă admisibilă în condițiile de lucru și cu viteza unghiulară din ce în ce mai mare. T. Svedberg a construit în 1934 o ultracentrifugă, alcătuită dintr-un rotor de oțel și o eprubetă de cuarț în care coloana de lichid poate atinge înălțimea de 6 m. La o rotație de 150 000 ture/minut, se obține o intensitate a cîmpului centrifugal de 900 000 de ori mai mare decît a celui gravitațional. Timpul de sedimentare, care este enorm de mare la coloizi, se micșorează astfel considerabil, iar stadiile diferite de sedimentare, care se pot recunoaște după densitatea și indicele de refracție respectiv, se determină la anumite intervale prin fotografierea automată a soluției coloidale, luminată cu o rază de lumină care străbate lichidul, și devierea ei diferențială este fotografiată pe un film.

E. LUCRUL MECANIC

Experiența arătînd că schimbarea locului în spațiu al diferitelor sisteme se face practic numai sub influența forțelor, se definește noțiunea de lucru mecanic ca o mărime proporțională cu forța F și cu deplasarea s a punctului de aplicație a forței, în direcția deplasării; lucrul mecanic se exprimă deci prin produsul acestor două mărimi:

$$L = F \cdot s \quad (1)$$

Dacă însă corpul asupra căruia acționează forța F nu poate urma direcția pe care o are forța, cum este cazul cu un vagonet tras de un om într-o direcție ce face un unghi oarecare cu șinele pe care se deplasează vagonetul, atunci forța F se descompune în două componente: F_s , în direcția șinelor, adică a deplasării, și F_n , în direcția perpendiculară pe aceste șine.

Această componentă F_n fiind anulată de rezistența șinelor, lucrează numai forța F_s , și cum această forță are valoarea:

$$F_s = F \cdot \cos \alpha,$$

vom avea drept valoare a lucrului mecanic:

$$L = F \cdot \cos \alpha \cdot s,$$

sau

$$L = F \cdot s \cdot \cos \alpha. \quad (2)$$

Aceasta este expresia generală a lucrului mecanic; astfel, dacă deplasarea se face în sensul forței, unghiul α este egal cu 0 și $\cos \alpha = 1$, deci expresia (2) devine (1):

$$L = F \cdot s.$$

Cînd $\alpha = 90^\circ$, $\cos \alpha = 0$, și deci lucrul mecanic capătă valoarea 0. Astfel, în mișcarea circulară centripetă, forța este perpendiculară în fiecare moment pe direcția mișcării, și deci $\alpha = 90^\circ$; lucrul mecanic are, în acest caz, valoarea zero.

Lucrul mecanic efectuat de o forță după formula (2)

$$L = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

poate fi de două feluri, după semnul unghiului α : dacă $\alpha < 90^\circ$, cosinusul este pozitiv, și deci lucrul mecanic este și el pozitiv; în acest caz avem lucru motor; dacă $\alpha > 90^\circ$, $\cos \alpha$ este negativ, și lucrul mecanic este și el negativ; în acest caz el se numește lucru rezistent.

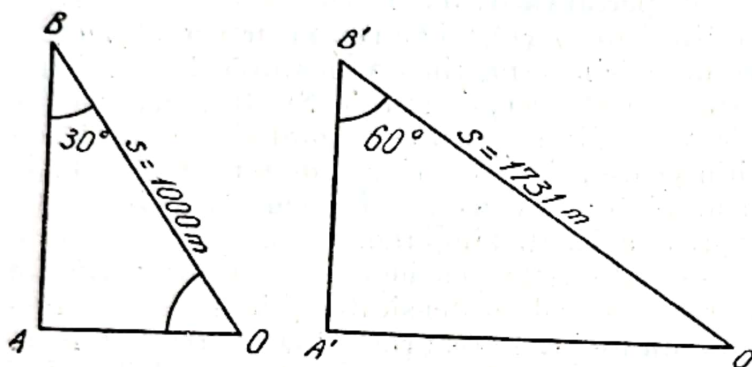


Fig. 37 — La urcarea unei pante, lucrul mecanic cheltuit depinde de diferența de nivel, iar nu de lungimea drumului.

Se poate exemplifica, considerînd un corp aruncat în sus, $\cos \alpha = -1$; gravitația trăgînd în sensul opus aruncării, lucrul mecanic este negativ; dacă corpul cade

în jos, $\cos \alpha = 1$, adică lucrul făcut de gravitație este pozitiv.

O aplicație a lucrului mecanic făcut în deplasările omului, în condiții normale, în sport sau în anumite condiții (cum ar fi de exemplu regimul de deplasare a unor bolnavi, cum sînt cardiaccii), constă în urcarea la o înălțime cu ajutorul serpentinelor lungi, cu pantă mică. Se explică de ce putem face mai ușor un drum mai lung, însă mai puțin înclinat, decît un drum mai scurt, însă care urcă brusc, examinînd lucrul mecanic făcut de om în asemenea deplasări.

Exemplificînd numeric, lucrul mecanic făcut de un același om care parcurge 1 000 m pe o pantă de 60° este egal în valoare cu cel făcut parcurgînd 1 731 m pe o pantă de 30° , și omul ajunge la aceeași înălțime. Din fig. 37 a și b reiese că, pentru urcarea de la A la B a unui om care are greutatea F , lucrul mecanic are valoarea

$$L_1 = F \cdot s \cdot \cos 60^\circ$$

$$L_2 = F \cdot s' \cdot \cos 30^\circ$$

și deci

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{s \cdot \cos 60^\circ}{s' \cdot \cos 30^\circ};$$

avem $AB = OB \cos 60^\circ$ și $A'B' = O'B' \cos 30^\circ$,
și cum $\cos 30^\circ = 0,8655$ și $\cos 60^\circ = 0,5$,

$$AB = 1\,731 \times 0,5 \text{ și } A'B' = 1\,000 \times 0,8655,$$

de unde reiese că $AB = A'B'$; adică, în loc de a parcurge 1 000 m pe o pantă de 60° , parcurgem 1 731 m pe o pantă de 30° , pentru a ajunge la aceeași cotă, lucrul mecanic fiind același. De aici rezultă că, la urcarea unei pante, nu lungimea drumului participă la determinarea lucrului mecanic, ci diferența de nivel, de cotă, între cele două puncte de la începutul și de la sfârșitul pantei.

Unitățile de lucru mecanic. Unitatea de lucru mecanic în sistemul CGS se obține din expresia generală (2), considerind $\alpha = 0$

$$L = F \cdot s.$$

Lucrul mecanic efectuat de o forță de o dină care se deplasează pe o distanță de 1 cm (dacă forța acționează în direcția deplasării) se numește erg. Această unitate fiind foarte mică, se folosește un multiplu al ei, 10^7 ergi = 1 joule.

În sistemul MKS, unitatea de lucru mecanic este kilogrammetrul, care reprezintă lucrul mecanic efectuat de o forță de 1 kg ce se deplasează pe o distanță de 1 m în direcția forței.

Legătura dintre unitățile de lucru mecanic din aceste două sisteme mai curențe de unități este ușor de stabilit.

$$1 \text{ kg} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ kgm sau}$$

$$981\,000 \text{ dine} \times 100 \text{ cm} = 98\,100\,000 \text{ ergi} = 9,81 \times 10^7 \text{ ergi} = \\ = 9,81 \text{ jouli.}$$

$$\text{Deci, } 1 \text{ kgm} = 9,81 \text{ jouli, iar } 1 \text{ joule} = \frac{1}{9,81 \text{ kgm}} = 0,102 \text{ kgm.}$$

F. PUTEREA

Din două mașini care efectuează același lucru mecanic, interesează, îndeosebi în tehnică, aceea care face lucrul într-un timp mai scurt. Astfel apare nevoia definirii unei noi mărimi: puterea.

Se numește puterea W , mărimea fizică reprezentată prin lucrul efectuat în raport cu timpul:

$$W = \frac{L}{t}$$

La sistemul de unități CGS, unitatea de putere reprezintă puterea unui sistem care face un lucru mecanic de un erg într-o secundă (erg/s). Această putere fiind foarte mică, se întrebuițează un multiplu al ei, care este wattul (W)

$$1 \text{ watt} = \frac{10^7 \text{ ergi}}{1 \text{ s}} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ s}}$$

Se întrebuițează și multiplii wattului: hectowattul (hW) și kilowattul (kW), primul avînd valoarea de 100 wați și al doilea de 1 000 wați.

În tehnică se întrebuițează pentru măsurarea puterilor kilogrammetrul pe secundă (kgm/s)

$$1 \text{ kgm/s} = 9,81 \text{ W.}$$

$$1 \text{ W} = 1/9,81 \text{ kgm/s} = 0,102 \text{ kgm/s.}$$

În secolul trecut, în perioada utilizării primelor mașini cu vaporii ca pompe pentru scoaterea apei care inunda galeriile minelor de cărbuni, puterea acestor mașini a fost comparată și măsurată cu cea a calului, folosit

până atunci la scoaterea apei, trăgând orizontal la suprafața pământului, cu o frînghie trecută peste un scripete, un burduf sau un vas cu apă din mină. De atunci s-a păstrat până azi și unitatea „cal-putere” (CP). Valoarea ei este:

$$1 \text{ CP} = 75 \text{ kgm/s} = 735,5 \text{ W} = 0,7355 \text{ kW.}$$

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ CP.}$$

G. ENERGIE

Dacă o forță aplicată unui sistem de corpuri produce un lucru mecanic L care modifică starea A a sistemului, trecându-l în starea B , se definește o mărime fizică a acestui sistem, numită energia E , a cărei variație ΔE este proporțională cu lucrul mecanic L efectuat. Vom avea deci

$$\Delta E = E_B - E_A = k \Delta L, \quad (1)$$

în care k este un coeficient de proporționalitate. Dând acestui coeficient k valoarea 1, obținem

$$\Delta E = E_B - E_A = \Delta L. \quad (2)$$

Această relație nu exprimă identitatea dintre energie și lucru mecanic, ci numai faptul că variația energiei sistemului este egală numeric cu lucrul mecanic al forțelor exterioare, și că putem măsura energia și lucrul mecanic în unități de același fel: ergi, jouli, kgm.

După natura schimbărilor ce se produc în sistem, energia este mecanică, electrică, chimică, luminoasă etc., iar după natura variațiilor în mișcările sau în pozițiile corpurilor care determină variațiile de energie, există energie cinetică și energie potențială.

a) **Energia cinetică** a unui corp care se mișcă cu viteza v reprezintă lucrul mecanic făcut de o forță exterioară pentru a pune corpul în mișcare. Astfel, dacă o forță constantă F acționează asupra unui corp de masă m , acesta capătă o mișcare accelerată. După un timp t , corpul a străbătut spațiul s , căpătând viteza v . În această mișcare, forța F și-a deplasat punctul de aplicare pe distanța s , efectuând un lucru mecanic L , care are ca expresie

$$L = F \cdot s$$

care reprezintă lucrul cheltuit pentru a da corpului viteza v . Această expresie reprezintă și energia cinetică a corpului după timpul t . Deci se poate scrie

$$E_{cin} = L = F \cdot s,$$

sau

$$E_{cin} = F \cdot s, \quad (1)$$

înlocuind pe F cu valoarea sa din expresia legii a doua a lui Newton ($F = m \cdot a$), iar pe s cu expresia spațiului în mișcarea accelerată, relația (1) devine:

$$E_{cin} = F \cdot s$$

$$E_{cin} = m \cdot a \cdot \frac{at^2}{2}$$

sau

$$E_{cin} = \frac{ma^2t^2}{2}$$

și cum $at = v$, vom avea

$$E_{cin} = \frac{mv^2}{2}$$

Energia cinetică a unui corp cu masa m , care se mișcă cu viteza v , este deci egală cu jumătatea produsului dintre masă și pătratul vitezei.

Pentru a opri corpul, forțele exterioare vor trebui să efectueze un lucru negativ, egal în valoare cu $\frac{mv^2}{2}$.

b) **Energia potențială.** Energia potențială are un aspect diferit de cea cinetică și nu se poate reprezenta printr-o expresie generală. Energia potențială depinde de caracterul forțelor cu care corpurile acționează între ele.

Studiind energia potențială a unui corp A ridicat de pe Pământ, se constată că, pentru a ridica acest corp cu greutatea P la înălțimea h se cheltuiește un lucru mecanic Ph , care duce la mărirea energiei potențiale a sistemului Pământ plus corp sau, cum se spune prescurtat și impropriu, energia potențială a corpului A .

Vom avea deci:

$$Ph = E_p - E_{po},$$

unde E_p este energia potențială a corpului A ridicată în sus și E_{po} energia potențială a aceluiași corp ajuns la suprafața Pământului.

Deși atunci când corpul se află la suprafața Pământului, sistemul Pământ plus corp posedă încă energie potențială, căci într-o galerie verticală de mină, de exemplu, corpul poate cădea liber pornind de la suprafața Pământului și poate produce o lucrare, totuși se admite că la suprafața Pământului $E_{po} = 0$, așa că relația

$Ph = E_p - E_{po}$ devine $E_p = Ph$ și cum $P = mg$, vom avea $E_p = mgh$.

În timpul căderii, pe măsură ce corpul capătă o viteză din ce în ce mai mare, energia sa potențială descrește, iar cea cinetică crește. În momentul căderii pe Pământ, dacă înlocuim pe v din formula

$$E_{cin} = \frac{mv^2}{2}$$

cu valoarea stabilită de Galileu pentru viteza în cădere la orice moment $v = \sqrt{2gh}$, obținem

$$E_{cin} = \frac{2mgh}{2} = mgh,$$

ceea ce arată că, atunci când corpul a ajuns la Pământ, energia potențială s-a transformat în energie cinetică.

Noțiunile de energie cinetică și energie potențială au fost introduse în mecanică de fizicianul și fiziologul H. Helmholtz (1821—1894); studiind un sistem închis, el a stabilit că, într-un astfel de sistem, energia trece treptat din forma de energie de poziție în forma de energie de mișcare, dar suma acestor forme de energie rămâne constantă:

$$E = E_{cin} + E_{pot} = \text{const.}$$

Experiențele foarte numeroase și variate care s-au făcut în decursul timpului au dus la concluzia că, pentru un sistem închis (unde lucrul mecanic

efectuat de forțele exterioare este egal cu zero), energia poate trece, și în ceea ce privește manifestarea, dintr-o formă într-alta (mecanică, chimică, electrică), însă cantitatea ei totală rămâne constantă.

c) **Legea conservării energiei.** Generalizarea rezultatelor unui foarte mare număr de experiențe a dus la descoperirea legii conservării energiei. Această lege este generală și este valabilă, atât pentru fenomenele din lumea dimensiunilor foarte mari, cât și a celor foarte mici, și este confirmată de toate descoperirile din ultimele 6—7 decenii privind atomii, electronii, protonii, particulele radioactive etc.

Legea conservării energiei a fost descoperită și formulată încă din 1748 de M.V. Lomonosov, sub forma de lege a conservării materiei și amestecării în natură. Această lege naturală și universală are aplicare în înseși regulile mișcării ..., deoarece corpul care prin forța sa mișcă un alt corp pierde din forța sa o cantitate egală cu aceea pe care o transmite celui alt corp care primește mișcarea de la el", scria Lomonosov.

Legea conservării energiei a fost studiată sub forma limitată a unui sistem închis de Helmholtz, iar formularea ei mai completă a fost dată în 1848 de medicul Robert Julius Meyer (1814—1878), după descoperirea mai multor fenomene legate de transformările reciproce ale diferitelor forme de energie. Meyer a ajuns la descoperirea legii conservării energiei plecând de la numeroase observații fizice și fiziologice.

Fr. Engels, în lucrarea sa „Dialectica naturii”, a subliniat caracterul general al legii conservării și transformării energiei: Mișcarea, adică schimbarea în general, este o formă de existență a materiei. Ea nu poate să dispară și nici să fie creată din nimic. În natură sînt posibile numai schimbările formei de existență a materiei. Noile descoperiri pot aduce dovezi noi, să dea legii un conținut mai bogat, însă nu pot adăuga nimic legii conservării energiei propriu-zise.

Legea conservării energiei duce la concluzia că nu se poate construi o mașină care, efectuînd un lucru mecanic, să revină în stare inițială fără ca să se producă o schimbare în ea sau în jurul ei. Legea conservării energiei poate deci fi prezentată ca principiul imposibilității construirii unui *perpetuum mobile*.

În dezvoltarea istorică a studiilor de energetică, la începutul secolului al XX-lea, cînd a fost descoperită structura atomului, unii savanți idealisti au afirmat că s-a ajuns la o „criză a fizicii”. Ei spuneau că materia nu este decît o formă a energiei. V. I. Lenin, în „Materialism și Empiriocriticism” (1912), a arătat însă că materia nu dispăre, că descoperirile epocale în fizica atomului nu arată dispariția materiei, ci cel mult dispariția felului cum era concepută materia pînă atunci. Toate cercetările de pînă astăzi au dus la concluzia că concepția materialismului dialectic este cea justă, că nu există energie fără materie și nici materie fără energie.

H. ELEMENTE DE DINAMICĂ UMANĂ

Studiul mersului, alergatului și săriturii cuprinde, pe lîngă aspectul cinematic, pe care l-am examinat în capitolul respectiv, și importante probleme de dinamică. Dintre acestea fac parte chestiunile privind forțele desfășurate de mușchi în general, acțiunea exercitată de picior asupra Pămîntului în procesul locomoției etc.

a) **Dinamica locomoției.** În timpul mersului normal și al alergatului, dinamica locomoției este studiată în legătură cu lucrul mecanic făcut de mușchii care acționează membrele inferioare.

b) **Lucrul mecanic făcut de mușchi** depinde de forța desfășurată de mușchiul considerat și de deplasarea punctului de inserție pe osul pe care îl pune în mișcare, adică lucrul mecanic depinde de forța mușchiului și de contracția lui.

Lucrul mecanic maxim L_{max} al mușchiului este produsul dintre forța maximă F_{max} desfășurată și contracția maximă C_{max} a mușchiului.

Forța maximă dezvoltată de mușchi este proporțională cu secțiunea mușchiului.

$$F_{max} = k \cdot S \quad (1)$$

Fiind vorba de un element prin excelență elastic, contracția C_{max} este proporțională cu lungimea l a mușchiului:

$$C_{max} = k' \cdot l \quad (2)$$

În cele două relații, k și k' sînt coeficienții de proporționalitate corespunzători. Lucrul mecanic maxim al mușchiului este deci:

$$L_{max} = F_{max} \cdot C_{max} \quad (3)$$

Înlocuind în (3) pe F_{max} cu valoarea lui din (1) și pe C_{max} cu valoarea lui din (2), obținem pentru lucrul mecanic maxim al mușchiului

$$L_{max} = kS \cdot k' l \quad (4)$$

Dacă se consideră, pentru simplificare, un mușchi de formă cilindrică, produsul dintre lungime și secțiune reprezintă volumul mușchiului. Vom avea deci

$$L_{max} = k'' V, \quad (5)$$

unde k'' este factorul de proporționalitate.

Presiunea piciorului pe sol. Unul dintre elementele cele mai importante ale dinamicii locomoției este presiunea piciorului pe sol, care întîmpină forța de reacție a solului. Marey a determinat presiunea piciorului pe sol folosind o metodă numită a pantofului explorator.

Subiectul poartă pantofi speciali, care au amenajată în talpă o cameră cu un resort, a cărei extremitate mobilă comprimă o pară mică de cauciuc (fig. 38). Această pară comunică printr-un tub de cauciuc cu un tambur înregistrator pe care îl poartă chiar subiectul în mînă, împreună cu cilindrul pe care se face înregistrarea (fig. 39).

Piciorul exercitînd presiunea pe sol, aerul este comprimat în pară din camera pantofului; presiunea este transmisă tamburului, a cărui pîrghie înscrie fazele presiunii pe cilindrul aparatului.

După înălțimea oscilației obținute pe cilindru se poate evalua (prin comparație cu o înregistrare în kg) valoarea efortului care se exercită asupra resortului. Aparatul astfel alcătuit a fost numit *dinamograf*.

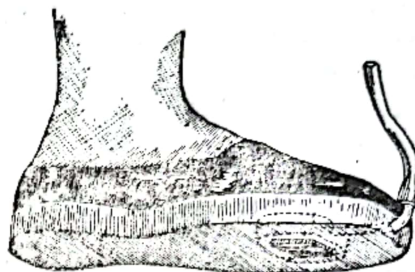


Fig. 38 — Pantof explorator (sandala lui Marey).



Fig. 39 — Dispozitivul portativ al lui Marey pentru înregistrarea presiunii piciorului pe sol.

În fig. 40 găsim pentru fiecare picior o curbă care se urcă în timpul sprijinului, coboară în timpul ridicării și rămâne orizontală în timpul perioadei de oscilație a membrului inferior corespunzător.

Pe grafic se recunosc perioadele de sprijin unilateral, alternativ drept și stîng; ele corespund părților ascendente ale curbei. Se vede de asemenea că urcarea uneia din curbe și coborîrea celeilalte se produc simultan, ceea ce înseamnă că, în momentul cînd piciorul stîng începe a se ridica, piciorul drept se află pe sol; se vede astfel perioada în care corpul se sprijină pe ambele

picioare deodată (perioada sprijinului dublu).

Se poate de asemenea evalua, după înregistrarea pe cilindrul turnant, presiunea exercitată de picior pe sol. Această presiune nu este egală numai cu greutatea corpului pe care piciorul trebuie s-o susțină. Ea cuprinde și un anumit efort destinat a împinge corpul înainte. Curba arată că ascensiunea este mai accentuată la finele fiecărei perioade de sprijin. Rezultă de aici că, înainte de a părăsi solul pentru a porni înainte, fiecare picior exercită o presiune mai puternică decît în sprijinul unilateral.

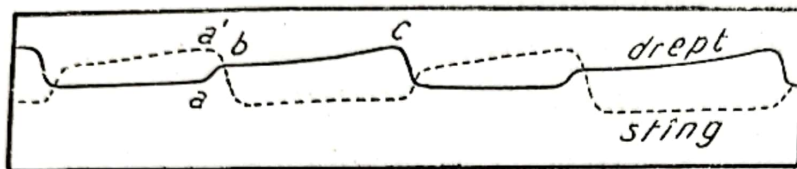


Fig. 40 — Graficul obținut cu ajutorul pantofilor exploratori.

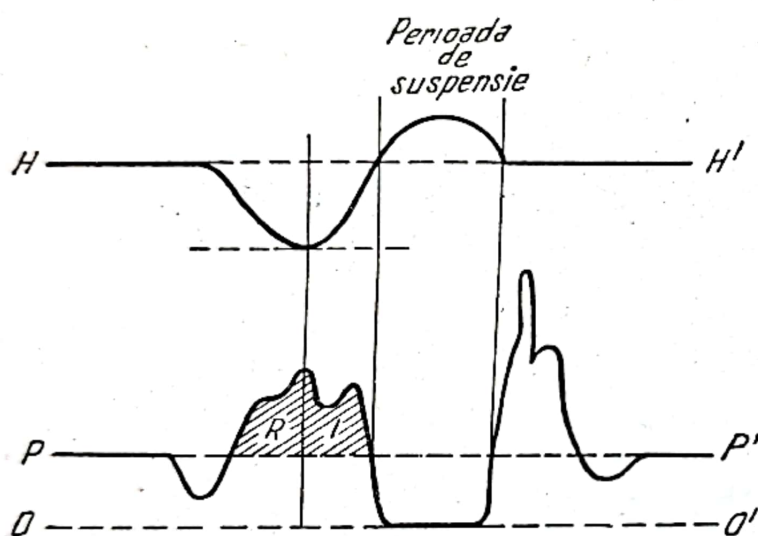


Fig. 41 — Efortul făcut prin contracția mușchilor, în săritură.

Săritura se face în condiții deosebite. Ea constă din proiectarea corpului subiectului prin destinderea bruscă a membrilor inferioare flectate în prealabil. Corpul se detașează de sol dacă viteza inițială este suficientă pentru a-l ridica la o înălțime mai mare. În săritura din repaus, de exemplu, fie în lungime, fie în înălțime, studiul cinematografic arată patru faze principale: a) o fază de pregătire, în care trunchiul se pleacă înainte, membrele inferioare se îndoaie, iar cele superioare sînt date înapoi; b) o fază de impuls, datorită contracției bruște a mușchiiului triceps și cvadriceps; c) o fază de suspensie, datorită efortului membrilor inferioare și ridicării brațelor; d) căderea pe picioare. Mușchii gambei și ai umerilor furnizează deci cel mai mare efort în săritură.

Cu ajutorul pantofului dinamografic se vede că, în săritură, efortul impulsului, dat mai ales de contracția bruscă a mușchiiului pulpei și coapsei, se traduce prin presiunea picioarelor pe sol.

Fig. 41 arată (după Demeny) descompunerea ariei de impuls într-un salt complet, cu pregătirea pe care o face subiectul prin mișcarea brațelor. Partea *R* a curbei trasată de dinamograf corespunde lucrului mecanic de pregătire în timpul coborîrii corpului (coborîrea este indicată de curba *H* de

deasupra, care reprezintă mișcarea verticală a corpului și care în dreptul ariei *R* arată o coborîre). Partea *I* corespunde lucrului mecanic de impuls obținut de îndată ce se ridică corpul printr-o încordare puternică a mușchilor. Urmează faza de suspensie (presiunea zero), apoi căderea pe sol cu intensitatea presiunii piciorului pe sol cu două maxime.

c) **Lucrul mecanic cheltuit în timpul mersului.** Rezultatele înregistrărilor făcute cu ajutorul metodei dinamografice permit a se evalua lucrul mecanic al mușchilor, cheltuit în timpul desfășurării diferitelor faze ale mersului. Metoda de cercetare reiese din examinarea lucrului mecanic cheltuit în timpul unui pas.

Făcînd un pas, un om efectuează un lucru mecanic, datorit acțiunii musculare care produce oscilațiile verticale ale corpului, deplasările orizontale (adică învingerea frecărilor în această deplasare) și mișcarea membrelor inferioare oscilante.

Lucrul mecanic cheltuit în oscilațiile verticale, care au o medie de 4 cm în înălțime la semipasul posterior, atinge 3 kgm la un subiect în greutate de 75 kg ($75 \text{ kg} \times 0,04 \text{ m} = 3 \text{ kgm}$). Coborîrea la semipasul anterior corespunde unui lucru mecanic negativ, căci mușchii rezistă la cădere; se poate deci considera, în medie, și pentru acest lucru mecanic o valoare egală cu cea pentru semipasul posterior, adică 3 kgm. Deci, lucrul mecanic total datorit oscilațiilor verticale este egal cu 6 kgm.

Lucrul mecanic cheltuit pentru deplasarea orizontală, care cuprinde variația de viteză, la fiecare pas, a trunchiului, capului, brațelor, este destul de însemnat. Mușchii fac un lucru mecanic pozitiv pentru a accelera viteza și un lucru mecanic negativ pentru a o micșora sau anula; toate acestea corespund în medie unui lucru mecanic în valoare de 2,5 kgm.

Lucrul mecanic cheltuit prin mișcarea membrelor inferioare oscilante, în timpul perioadei de sprijin unilateral, are valoarea de aproximativ 0,3 kgm.

Însumînd lucrul mecanic parțial efectuat în cele trei faze ale pasului, în mers normal, se obțin deci aproximativ 9 kgm pentru un pas simplu.

Pentru alergare se calculează în mod analog lucrul mecanic muscular, care este egal cu 24 kgm de fiecare pas simplu.

Considerînd variația lucrului mecanic în raport cu ritmul mersului sau al alergării, se obțin o serie de date interesante. Astfel, lucrul mecanic cheltuit pentru fiecare pas în timpul mersului încet, care este de aproximativ 9 kgm; crește cu accelerarea cadenței: poate depăși 15 kgm în mersul repede, atîngînd 22 kgm în alergarea rapidă. În mersul rapid cu ritmul de 90 de pași pe minut, cheltuiala de energie este mai mare decît în alergarea obișnuită cu o cadență de 105 pași pe minut.

Lucrul mecanic efectuat în mers, săritură sau în alergare a fost determinat și după oxigenul consumat de subiectul respectiv în timpul locomoției.

Înmulțind volumul de oxigen inspirat, redus la 0° și 760 torri (1 torr = 1 mm coloană de mercur) și exprimat în litri, cu 4,9 calorii (căldura de combustie a oxigenului în organismul normal) se obține, în calorii, cheltuiala energetică din timpul experimentării. Valorile obținute de autorii care au făcut această determinare (Zuntz, Amar) concordă destul de bine cu cele obținute pe cale mecanică (Marey, Demeny).

I. STATICA

Statica este partea din mecanică ce studiază echilibrul, adică starea în care se află un corp solicitat de mai multe forțe ce-și anulează reciproc efectele.

Considerind echilibrul unui corp asupra căruia acționează numai forța gravitației, deosebim două cazuri de echilibru: echilibru de suspensie, când corpul este mobil în jurul unei axe de rotație, orizontală, verticală sau înclinată; echilibru de sprijin, când corpul se află pe un plan cu care are contact printr-o bază de susținere.

În ambele cazuri există trei moduri de echilibru: stabil, nestabil și indiferent.

1. CONDIȚIILE DE ECHILIBRU PENTRU CORPURILE SUSPENDATE

a) Un corp suspendat se află în echilibru stabil când centrul său de greutate este situat sub axa de suspensie, în poziția cea mai joasă posibilă și pe aceeași verticală cu axa. Dacă scoatem acest corp suspendat din poziția sa de echilibru stabil, el revine în această poziție datorită momentului de rotație al forței gravitației, moment care constă din produsul dintre greutatea corpului și distanța centrului de greutate G al acestui corp, până la verticala gravitației, pentru poziția de echilibru stabil.

b) Dacă centrul de greutate G se află deasupra axei de suspensie S și anume în punctul cel mai înalt, însă tot pe aceeași verticală, echilibrul este nestabil (labil) și la o schimbare cît de mică a poziției corpul nu mai poate reveni în poziția de mai înainte, ci se rotește cu 180° în jurul axei, trecînd astfel în poziția de echilibru stabil.

c) Când axa de suspensie trece prin centrul de greutate, corpul are un echilibru indiferent, distanța forței față de axă fiind zero; momentul de rotație are și el valoarea zero și deci corpul nu-și schimbă poziția.

În cazul particular când axa de rotație este verticală, corpul nu se poate roti sub acțiunea gravitației, oricare ar fi poziția centrului de greutate față de axă: centrul de greutate rămînînd la aceeași înălțime, oricum s-ar roti corpul în jurul axei, corpul este în echilibru indiferent.

2. CONDIȚIILE DE ECHILIBRU PENTRU CORPURILE SPRIJINITE PE UN PLAN

a) Un corp așezat pe un plan este în echilibru stabil dacă verticala centrului de greutate trece prin poligonul convex care alcătuiește baza sa de sprijinire. Echilibrul este cu atît mai stabil cu cît baza este maimare; cu cît centrul de greutate este mai apropiat de această bază, echilibrul este de asemenea mai stabil. Această din urmă condiție este suficientă și pentru cazul când un corp este sprijinit pe un poligon de dimensiuni reduse practic pînă la un punct sau la o linie dreaptă.

b) Când poligonul de sprijin este foarte mic, un punct sau o linie dreaptă, și centrul de greutate se află în partea cea mai înaltă posibilă la corpul respectiv, dar pe aceeași verticală cu el, corpul se află în echilibru labil.

c) Corpurile sprijinite, la care centrul de greutate rămîne permanent la aceeași înălțime, iar verticala gravitației trece prin poligonul de sprijin, chiar dacă acesta este redus la forma de punct sau de linie dreaptă, se află în echilibru indiferent. Acesta este cazul sferei: toate razele sferei sînt perpendiculare pe planul de tangentă la punctul de contact; urmează deci că, oricare ar fi punctul de sprijin al sferei pe plan, una din raze va trece prin punctul de contact. La fel, un cilindru, con, trunchi de con, sprijinit pe generatoare, are în orice moment o linie de sprijin prin care trece verticala centrului de greutate.

J. ECHILIBRUL CORPULUI OMENESC

Corpul omenesc se află în echilibru în diferite poziții: cînd stă în picioare, cînd șade, cînd este culcat.

1. ECHILIBRUL CORPULUI ÎN POZIȚIE VERTICALĂ

În poziție verticală, corpul omenesc se află în echilibru stabil, verticala centrului de greutate trecînd prin interiorul unui poligon convex de sprijin, mărginit de părțile exterioare aplicate pe sol ale celor două plante și liniile drepte care unesc, două cîte două, extremitățile anterioare și cele posterioare ale plantelor. Dacă, prin aplecarea trunchiului, verticala gravitației nu mai trece prin poligonul de sprijin, omul cade; pentru a nu cădea, mărește baza de susținere, îndepăr-tînd picioarele.

În poziție verticală, greutatea corpului este repartizată pe cele două picioare, care se reazemă pe pămînt avînd călcîiele mai apropiate între ele decît virfurile. Picioarele sînt în extensie, trunchiul este drept, brațele atîrnă, capul are o astfel de poziție încît fața este verticală.

Condițiile de echilibru al întregului corp cuprind și echilibrul părților principale: capul, trunchiul, membrele inferioare.

Capul. Craniul este rezemat pe condilii primei vertebre, atlasul. Verticala centrului de greutate trece cu puțin înaintea articulației occipito-atlantoide, deci a liniei transversale care unește cei doi condili. Din această cauză, capul nu se menține în echilibru, ci cade înainte, fapt ușor de observat la un om care doarme șezînd și care nu are capul mult dat pe spate. În stare de veghe, mușchii cefii, în ușoară contracție statică, opresc capul de a cădea înainte. Echilibrul craniului este deci asigurat de mușchii cefii, ce produc un moment de rotație pd , care anulează efectul greutății capului, aplicată în punctul b (fig. 42).

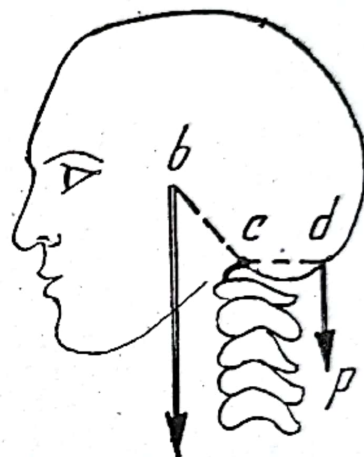


Fig. 42 — Echilibrul capului pe coloana vertebrală.

Examinînd diferitele vertebre, se constată că ele își mențin poziția una deasupra celeilalte în același mod ca și capul. Pentru regiunea cervicală și dorsală intervin mușchii spatelui. În regiunea lombară, verticala gravitației trece înapoia vertebrelor; în acest caz, mușchii abdomenului formează momentul compensator.

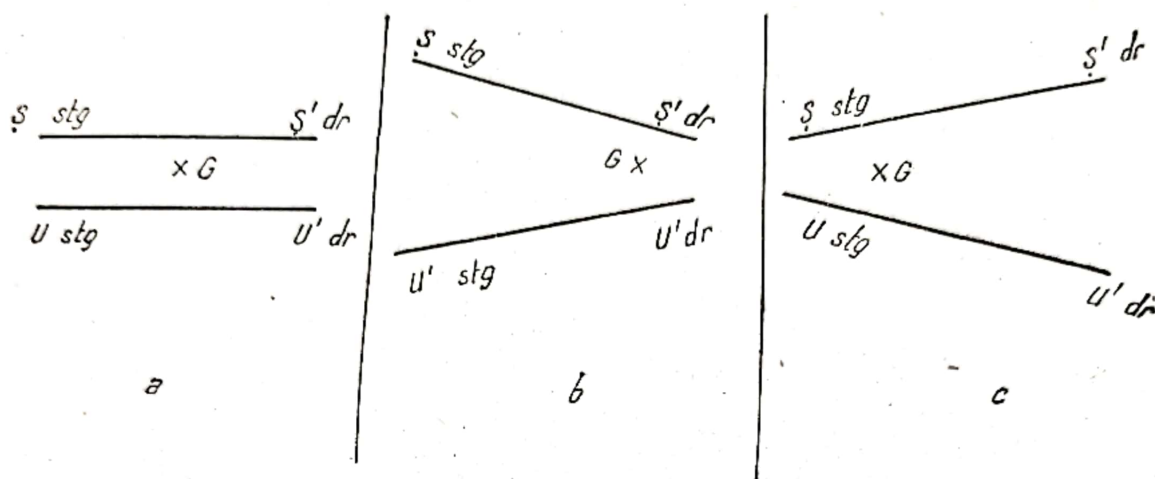
Trunchiul. Trunchiul stă în echilibru pe picioare, fiind rezemat pe capetele celor două femururi ca și cum ar fi așezat pe o axă orizontală care unește articulațiile coxo-femorale. Verticala centrului de greutate al trunchiului trece înapoia acestei axe, iar momentul compensator este realizat de ligamentul lui Bertin, mușchiul psoas-iliac și tensorul fasciei late, care, sprijinindu-se pe coapsă, trag bazinul înainte.

Echilibrul coapselor pe tibie. Condilii femurului sprijinindu-se pe tibie, verticala centrului de greutate trece la nivelul genunchiului în fața axei transversale articulare. Echilibrul este asigurat de gemeni și ligamentele genunchiului. Genunchiisînt menținuți în extensie prin acțiunea gravitației, în limita permisă de distensia ligamentelor articulare.

Echilibrul gambei pe picior. Verticala centrului de greutate al întregului corp trece în fața articulației tibio-tarsiene. Echilibrul este menținut de

tricepsul sural, care în ortostatism se află în stare de contracție permanentă. Mușchii gambei intervin mai activ în menținerea echilibrului corpului în poziție verticală.

Poziții anormale ale corpului omenesc. Dintre pozițiile verticale anormale, menționăm pe cele momentane, datorite purtării unei greutăți; verticala centrului de greutate deplasându-se, omul își schimbă poziția pînă ce această verticală trece din nou prin poligonul de sprijin.



G este proiecția centrului de greutate al corpului uman.
Fig. 43 — Proiecția ortogonală a liniei umerilor SS' și a umerilor UU' .

În poziția simetrică, linia umerilor UU' este paralelă cu linia umerilor SS' , așa cum se vede în fig. 43, care reprezintă proiecția ortogonală a acestor două linii. Dacă trecem întreaga greutate a corpului pe un picior, de exemplu pe stîngul, se produce o rotație dublă, în sens invers, a liniei umerilor și a liniei umerilor; centrul de greutate trece spre piciorul stîng. De asemenea, dacă subiectul duce o greutate într-una din mîini sau pe umeri, se strică echilibrul corpului în raport cu planul vertical antero-posterior de simetrie (fig. 44).

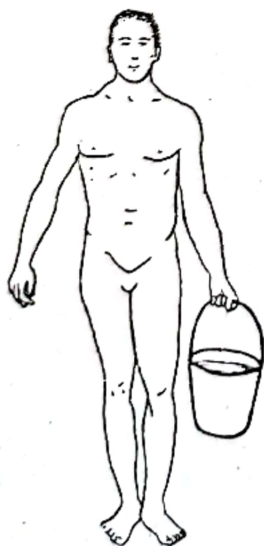


Fig. 44 — Subiectul, purtînd în mîna stîngă o greutate, se apleacă lateral, spre dreapta.

Dacă vrem să ne ridicăm pe vîrfurile picioarelor, trebuie să aplecăm în prealabil corpul înainte, pentru ca verticala centrului de greutate să treacă prin linia care unește cele două vîrfuri ale picioarelor. Dacă contractăm numai mușchii gambelor, corpul se ridică pentru o clipă, dar, verticala gravitației căzînd înapoia liniei de sprijin, corpul cade înapoi.

Se observă atitudini patologice datorite numai flexiei sau extensiei anormale a diferitelor segmente, pentru care am studiat mai înainte condițiile de echilibru în poziție normală. Se constată de asemenea poziții vicioase datorite modificărilor scheletului; acesta rezistă foarte bine la un efort de scurtă durată, dar se resimte la eforturi permanente și se deformează sub influența contracțiilor musculare anormale de lungă durată.

Astfel, la un om care are un picior mai scurt decît celălalt, menținerea echilibrului cere aplecarea trunchiului lateral, spre piciorul mai scurt. Ca o consecință

a acestei aplecări repetate apare *scolioza*, o deformare a coloanei vertebrale, a cărei convexitate este îndreptată spre partea piciorului mai scurt.

Uneori are loc, mai ales la adolescenți, o exagerare a curburii dorsale; această deformare se numește *cifoza*. Pentru a compensa această deviere, se produce o amplificare a curburii lombare cu convexitatea anterioară, numită *lordoza*.

Piciorul plat este o consecință patologică a poziției verticale vicioase. Această deformare se datorește discordanței dintre apăsarea puternică și continuă a corpului celui care stă mult în picioare și este supraincărcat cu greutate, și rezistența oaselor și a ligamentelor. De această deformare suferă muncitorii care lucrează mult timp în picioare: tipografii, călătorii, personalul de deservire din restaurante, trenuri, tramvaie, troleibuze și autobuze, precum și fierarii, lemnarii, brutarii, hamalii, care poartă greutatea aproape permanent în timpul lor de muncă.

Măsurile de protecția muncii, de pildă instalarea scaunelor pentru personalul din tramvaie și trenuri, ascensoarele pentru materialele industriale, mecanizarea muncilor grele etc., sînt elementele principale de prevenire a deformațiilor patologice de acest gen.

2. ECHILIBRUL CORPULUI ÎN ȘEDERE

În ședere, corpul se reazemă pe cele două ischioane: membrele inferioare fiind în repaus, echilibrul se referă numai la trunchi, iar nu la întregul corp.

Condițiile de echilibru al corpului în ședere se studiază pentru trei cazuri:

a) Trunchiul este aplecat înainte: verticala centrului de greutate nu trece prin linia care unește cele două ischioane (fig. 45). Punctul *I* este proiecția

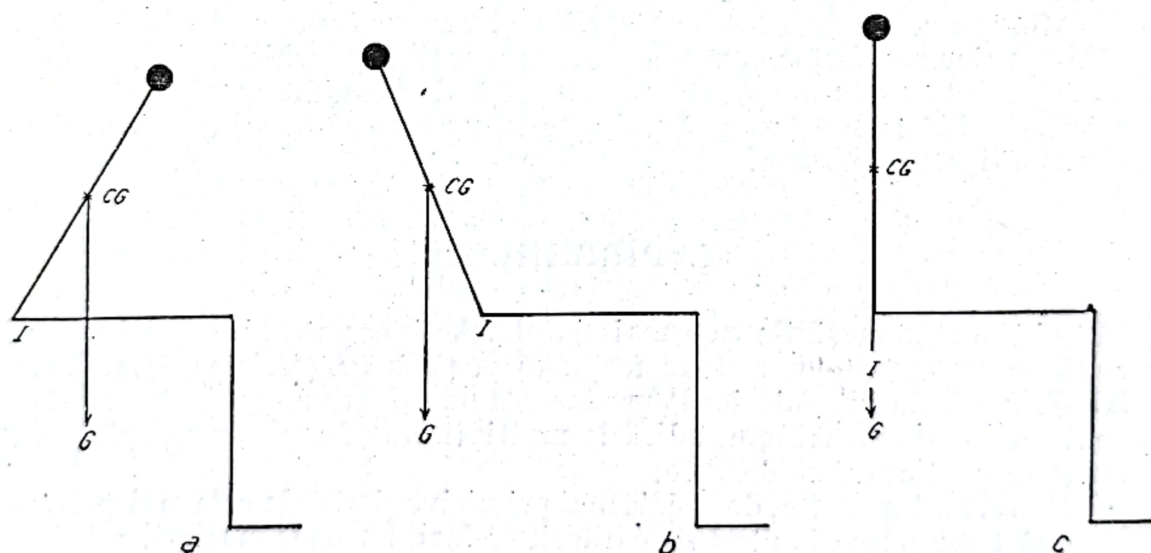


Fig. 45 — Echilibrul corpului uman în ședere.

acestei linii pe planul figurii. Pentru menținerea echilibrului în această poziție, subiectul are două mijloace: ori se sprijină cu minile, măbind astfel poligonul de bază al trunchiului, ori mușchii sacro-lombari se contractă și pot menține cîtva timp, prin efortul lor, echilibrul trunchiului.

b) Trunchiul este aplecat înapoi: verticala gravitației cade îndărătul liniei care unește ischioanele. Pentru menținerea corpului în echilibru în această poziție, subiectul se reazemă cu spatele de spătarul scaunului.

c) În poziția de ședere, trunchiul este în echilibru stabil dacă verticala centrului de greutate intersectează linia ischioanelor. În acest caz, contracția musculară este minimă și stabilitatea corpului este deci menținută aproape fără efort.

Șederea vicioasă, îndeosebi a elevilor în bănci, are și ea drept consecință o scolioză; această deformare, specific școlară, constă într-o deviere a coloanei vertebrale, mai ales în regiunea dorsală, cu convexitate spre dreapta. Această scolioză se poate preveni prin munca medicului școlar și prin supravegherea permanentă a poziției șezînde, din partea educatorilor. Corectarea acestei devieri se poate face prin gimnastică medicală și cu ajutorul unor aparate de mecanoterapie, despre care se va vorbi mai departe.

3. ECHILIBRUL CORPULUI ÎN POZIȚIE CULCATĂ

În poziție culcată (decubit), corpul are echilibrul cel mai stabil: pe de o parte, contactele corpului cu planul de sprijin sînt foarte numeroase, și deci poligonul convex de reazem este foarte mare (în decubit dorsal, poligonul este mai mare decît în cel ventral); pe de altă parte, centrul de greutate are poziția cea mai joasă cu putință, fiind foarte apropiat de suprafața de sprijin.

Dacă subiectul este culcat pe o parte, corpul întins se află teoretic în poziție de echilibru instabil, din cauză că poligonul de bază se reduce teoretic la o linie aproape dreaptă; turtirea părților moi ale corpului transformă însă această linie într-o suprafață de sprijin lungă și îngustă, care dă echilibrului o oarecare stabilitate.

Centrul de greutate se află mai sus decît în poziția culcată pe față sau pe spate. Această poziție poate căpăta echilibrul stabil prin îndoirea membrelor care se află în contact cu planul de sprijin și care măresc astfel poligonul.

În ce privește efortul muscular pentru menținerea echilibrului, poziția culcată prezintă diferențe fundamentale față de celelalte poziții studiate anterior, fiindcă în acest caz corpul este supus numai forței gravitației și toți mușchii sînt relaxați.

K. PÎRGHIILE

Pîrghiile sînt mașinile cele mai simple. Acțiunea pîrghiilor se bazează pe echilibrul momentelor a două forțe: forța pasivă R (rezistență) și forța activă F . Pîrghiile sînt folosite la producerea unui lucru mecanic în condiții cît mai favorabile pentru om, adică la multiplicarea forței sau a deplasării, așa cum se va arăta mai departe.

Cele mai multe unelte, de la cele mai primitive și pînă la cele mai perfecționate, sînt compuse din pîrghii de diferite feluri, forme și mărimi.

Primele unelte au ușurat munca omului primitiv. „Procesul muncii începe abia în momentul confecționării sculelor”, scrie Engels în „Rolul muncii în procesul de transformare a maimuței în om” (1876).

Pîrghiile sînt corpuri rigide de diferite forme, caracterizate prin trei puncte principale: punctul de aplicație a forței F , punctul de aplicație a rezistenței R și punctul S de aplicație a rezultantei forțelor F și R , și care se mai numește și punctul de sprijin al pîrghiei. În jurul acestui punct S , forțele F și R dau pîrghiei o mișcare de rotație.

1. LEGEA PÎRGHIILOR

Pentru ca pîrghia să poată realiza echilibrul și să servească pentru efectuarea mai ușoară a unui lucru mecanic, produsele dintre forțele aplicate și distanțele (normale) pînă la axa de rotație (fig. 46), adică momentele fiecărei forțe, trebuie să fie egale în valoare. Deci:

$$F \times d = R \times d'.$$

Pîrghia poate învinge deci o rezistență R cu o forță F , de exemplu, de două ori mai mică, dacă distanța d este de două ori mai mare decît distanța d' .

Legea pîrghiilor este o lege obiectivă. Ea nu poate fi modificată de om, dar poate fi aplicată în folosul lui. Dacă, în exemplul de mai sus, la brațul mai mic am aplica forța și la cel mai mare rezistența, ne-ar trebui o forță de două ori mai mare pentru a învinge rezistența, și deci nu am avea nici un folos printr-o astfel de aplicare. Aplicînd convenabil condițiile legii, putem folosi pîrghiile pentru a amplifica cei doi factori care alcătuiesc lucrul mecanic: fie forța, fie deplasarea.

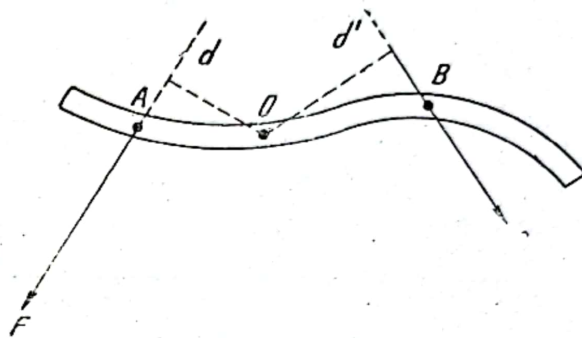


Fig. 46 — Legea momentului pîrghiilor
 $Fd = Rd'$.

În ecuația $Fd = Rd'$ este respectată legea conservării energiei, care aici ia numele de legea conservării lucrului mecanic. În adevăr, momentul fiecărui braț al pîrghiei este echivalent cu produsul dintre o forță și o deplasare, deci cu un lucru mecanic. Vom întilni aplicată această lege a conservării lucrului mecanic la studiul pîrghiilor din organism.

După pozițiile reciproce ale celor trei puncte de aplicații F, R, S , se definesc trei feluri de pîrghii (fig. 47).

a) Pîrghia de genul întâi are punctul de sprijin S situat între punctul de aplicație a forței și cel de aplicație a rezistenței; ea se numește pîrghie de echilibru, fiindcă realizează un echilibru static.

b) Pîrghia de genul al doilea are punctul de aplicație a rezistenței între cel de aplicație a forței și cel de sprijin. Aceste pîrghii se numesc pîrghii de forță, fiindcă, prin structura lor, distanța de la R la S este mai mică decît de la F la S , deci F este mai mic decît R , ceea ce face să putem amplifica forța.

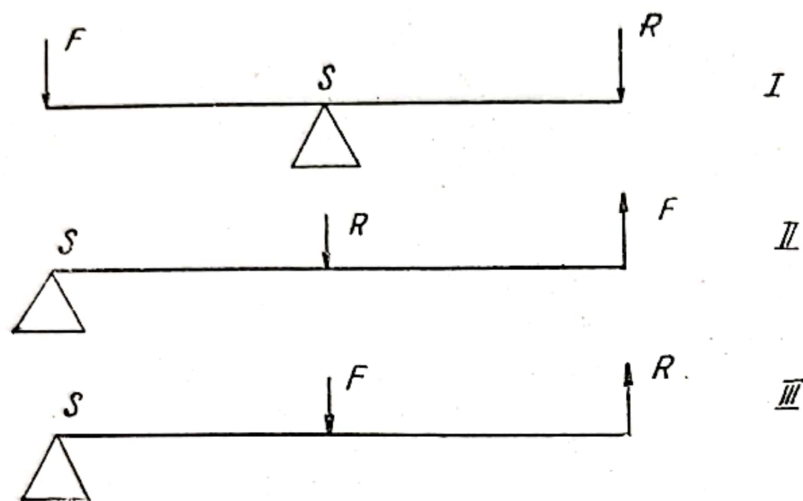
c) Pîrghia de genul al treilea are punctul de aplicație a forței așezat între cel de aplicație a rezistenței și punctul de sprijin; pîrghiile de acest fel se numesc pîrghii de deplasare, fiindcă, utilizînd o forță mare, ele înving o rezistență mică, deci nu fac economie de forță, dar în schimb deplasează mult punctul de aplicație a rezistenței. În corpul omului și al animalelor se găsesc numeroase pîrghii de deplasare.

2. PÎRGHIILE ÎNȚILNITE ÎN STUDIUL ȘI PRACTICA MEDICINEI

Pîrghiile întilnite în studiul și practica medicinei sînt de două categorii. În corpul omenesc se găsesc peste 200 de pîrghii osoase, aparținînd celor trei genuri descrise mai înainte. În instrumentarul de clinică și aparatele de laborator se întilnesc aplicații numeroase ale principiului pîrghiilor.

În corpul omenesc, de cele mai multe ori se întilnesc pîrghii de genul al treilea, adică cele care au punctul de aplicație a forței (locul de inserare a

mușchiului) între punctul de sprijin (articulația) și punctul de aplicare a rezistenței care trebuie învinsă (greutatea aplicată la capătul mobil al osului). Ca exemple de astfel de pîrghii pot servi antebrațul sprijinit în cot, brațul în umăr, piciorul în genunchi etc. În aceste cazuri, mușchiul este fixat aproape de punctul de sprijin; datorită acestui fapt, contracțiile relativ mici ale mușchiului imprimă deplasări mari capătului mobil al pîrghiei osoase, compensînd astfel efortul mușchilar, care este mai mare decît rezistența pe care trebuie să o învingă. Se respectă aici legea conservării lucrului mecanic, produsul dintre forța mare și contracția mică fiind egal cu produsul dintre rezistența mică și deplasarea mare a capătului liber al osului.



I — de echilibru; II — de forță; III — de deplasare.

Fig. 47 — Schema celor trei genuri de pîrghii.

Mai rar se întîlnesc în organism pîrghii osoase de genul al doilea, unde rezistența este aplicată între punctul de sprijin și locul de inserție a mușchiului. O astfel de pîrghie este piciorul, cînd omul stă pe vîrfurile picioarelor. Punctul de sprijin este vîrfurile tălpii; forța mușchilor gemeni este aplicată prin tendonul lui Ahile pe calcaneu, iar rezistența de învins este greutatea

corpului care se transmite piciorului prin mijlocirea tibiei. Brațul forței fiind mai mare decît cel al rezistenței, forța musculară pentru ridicarea corpului pe vîrfuri este mai mică decît greutatea corpului.

Pîrghia osoasă de genul I, care are punctul de sprijin între punctul de aplicare a forței și cel de aplicare a rezistenței, se întîlnește în corp numai acolo unde e nevoie de menținerea unui echilibru. În această categorie intră și corpul aflat în echilibru pe linia articulațiilor coxo-femorale și tibio-tarsiene. Forța necesară pentru menținerea echilibrului este cu atît mai mică cu cît distanța de la punctul de aplicare a forței musculare pînă la punctul de sprijin este mai mare.

a) **Pîrghii de genul I.** Elementele care lucrează după principiul pîrghiilor de genul I sînt relativ puține în organism, așa cum am arătat mai înainte.

Trunchiul se află în echilibru pe picioare ca o pîrghie de genul I. Rezistența este greutatea trunchiului aplicată în centrul de greutate; verticala centrului de greutate trece înapoia liniei transversale care unește cele două articulații coxo-femorale și care are rolul de sprijin. Forța care ține trunchiul (care altfel ar cădea înapoi) este alcătuită din ligamentul lui Bertin, mușchiul psoas-iliac și tensorul fasciei late, care își exercită acțiunea în fața acestei linii, făcînd astfel ca trunchiul să stea în echilibru pe cele două capete femorale.

Capul este de asemenea o pîrghie de genul I. Sprijinit pe atlas, el funcționează ca o pîrghie cu brațe neegale, verticala centrului de greutate netrecînd prin atlas; din cauza greutății sale care constituie rezistența R , craniul cade înainte dacă nu este ținut în echilibru de mușchii cefii, care

constituie forța F . Trebuie însă menționat că efortul mușchiului cefii pentru ținerea capului în echilibru este mic, deoarece brațul rezistenței nu este mult mai mic decât cel al forței; apăsând ușor capul pe spate, forța verticală R se apropie de punctul S , trecând chiar prin el și menținând astfel echilibrul capului fără efort muscular.

Antebrațul în extensie se comportă ca o pîrghie de genul I. Mușchii inserați pe olecran, contractîndu-se, trag antebrațul în jos.

Pîrghiile de genul I folosite în medicină sînt foarte numeroase. În primul rînd se numără printre ele pîrghiile duble: foarfecele și cleștii (fig. 48). Aceste instrumente, de care medicul nu se poate lipsi, se pot grupa, la rîndul lor, în trei categorii, după construcția lor.

Astfel, foarfecele pentru tăiat aparate gipsate, care au de învins rezistența mare a gipsului întărit, diferitele feluri de clești pentru extracții dentare și costotomul (foarfece pentru tăiat coastele, în chirurgia toracică) au drept caracteristică o gură puternică și mică și minere lungi. Numai astfel putem folosi puterea noastră mai eficient: apăsînd pe un braț de pîrghie lung, putem învinge o rezistență mare, aplicată la un braț de pîrghie scurt.

O altă categorie de pîrghii de genul I sînt cleștii, la care brațele pîrghiei pe care apăsăm sînt mici, iar cele pe care se aplică rezistența sînt lungi; este cazul forcepsului, unde nu apăsarea este folosul pe care îl urmăm, ci numai înlesnirea degajării fătului la naștere.

În fine, a treia categorie de pîrghii de genul I cuprinde foarfecele și cleștii la care mărimea brațelor forței nu diferă mult de cea a brațelor rezistenței: cleștele pentru tracțiunea limbii în caz de asfixie, cleștele de manipulat pansamentele, cleștele depărtător al buzelor plăgilor, speculul, foarfecele chirurgical care se desface în cele două pîrghii pentru a fi curățat ș.a.

Mai sînt și alte pîrghii de genul I folosite în clinică, laborator, servicii de fizioterapie, mecanoterapie etc.; astfel există balanțele, scripetii, acele indicatoare și înregistratoare ale diferitelor aparate de măsurat, organe de mașini și aparate de laborator etc.

b) **Pîrghii de genul al II-lea.** Pîrghii de genul al II-lea sînt în primul rînd dinții incisivi și canini. Un exemplu simplu, redat în fig. 49, arată condiția pentru ca un dinte — și toate instrumentele medicale și altele de uz curent, de constituție asemănătoare (bisturiu, trepan, cuțit, topor) — să aibă un efect mai mare.

Partea vizibilă a unui incisiv are sagital forma aproximativă a unei prisme triunghiulare, și se aseamănă cu pana, dalta sau cu toporul de despicat lemnele.

Reprezentînd un astfel de instrument prin secțiunea perpendiculară pe muchiile prisme, obținem un triunghi isoscel ABC (fig. 49); forța F este perpendiculară pe baza de presiune AB . Această forță, reprezentată prin vectorul rezultat OD , se poate descompune în forțele OM și ON perpendiculare (normale) pe laturile instrumentului; construind paralelogramul forțelor, vom avea starea de echilibru cînd forța F este egală cu rezistența R , pe care o opune de fiecare parte corpul despicat, exercitînd-o asupra laturilor penei în mod normal.

Comparînd unul din cele două triunghiuri isoscele care alcătuiesc paralelogramul forțelor, și anume MOD , cu secțiunea ABC a penei, observăm că

$$\frac{OD}{OM} = \frac{AB}{AC} \text{ sau } \frac{F}{R} = \frac{AB}{AC}$$

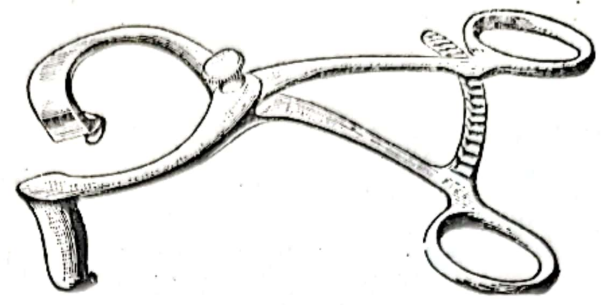
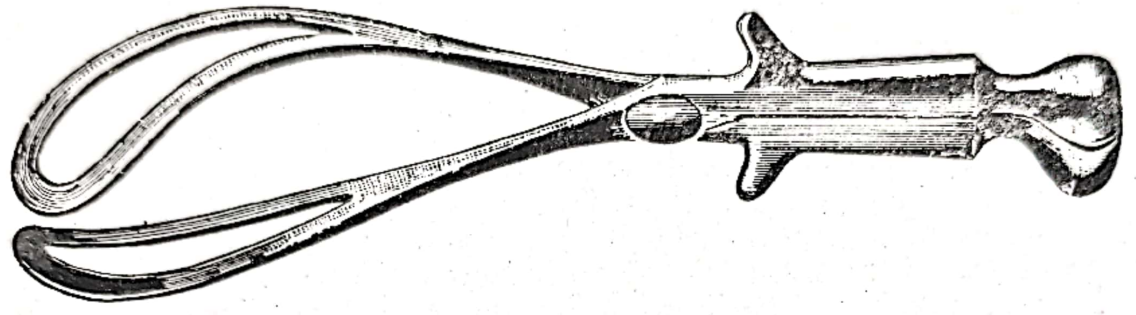
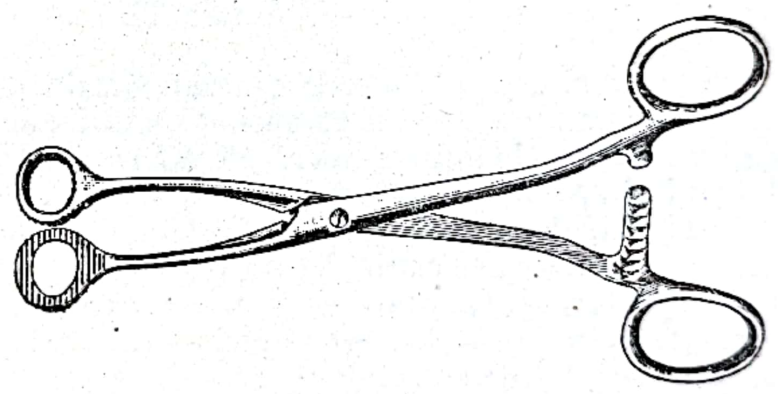
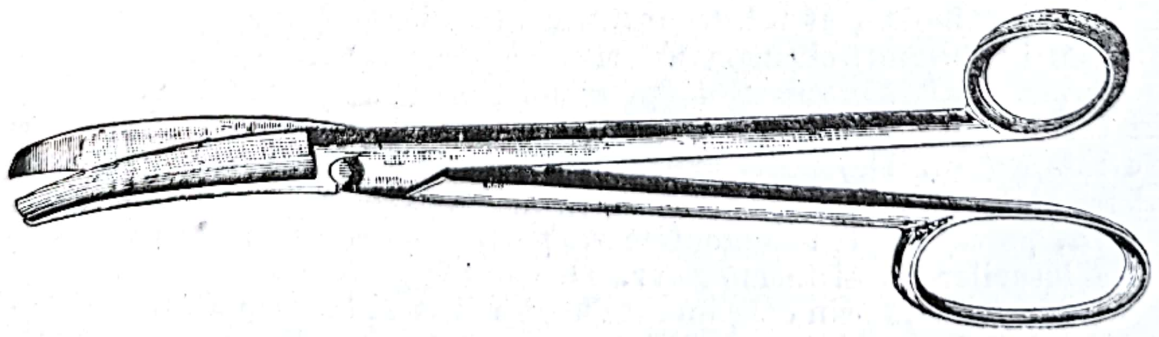
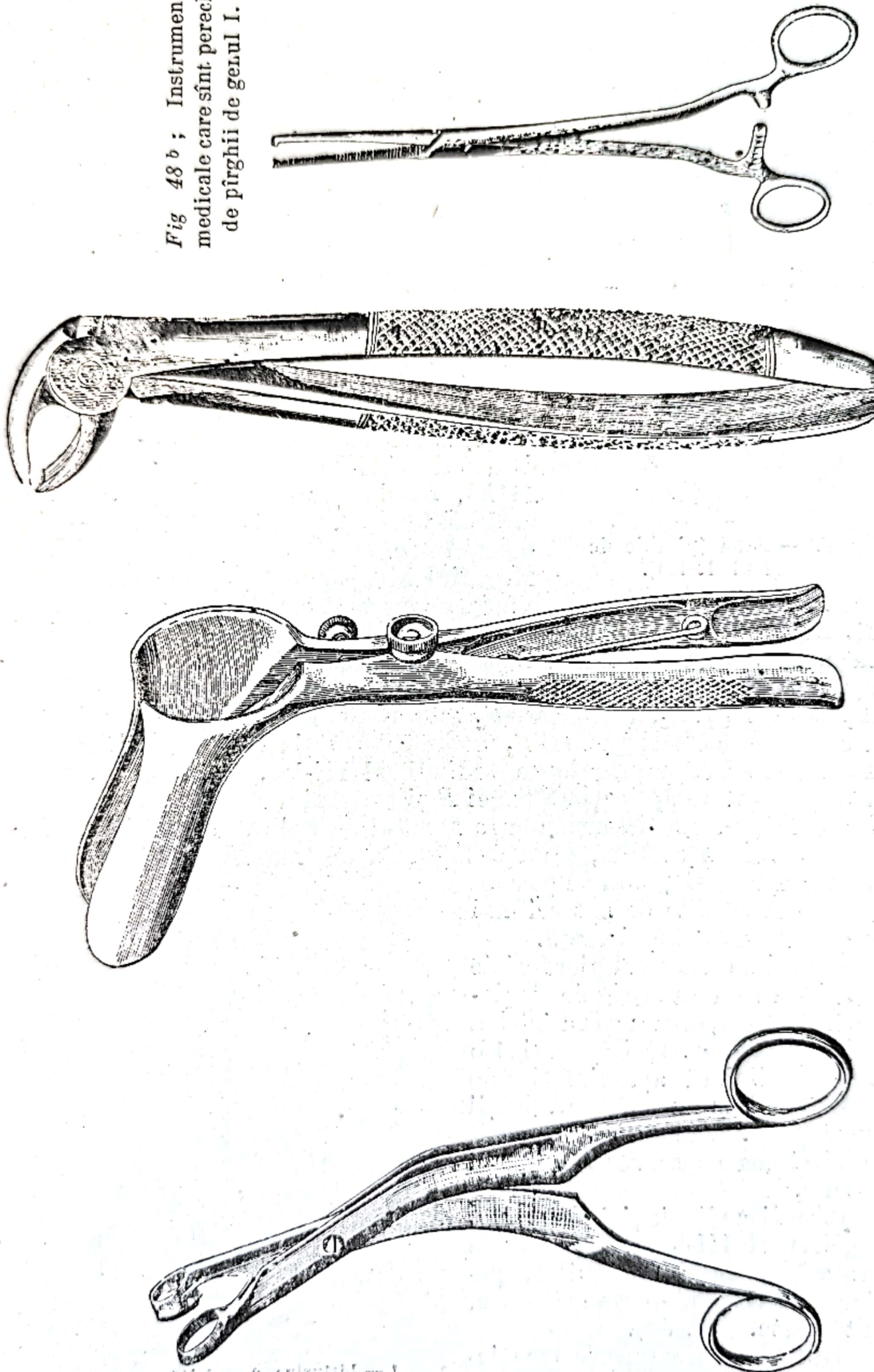


Fig. 48a — Cîteva instru-
mente medicale care sînt
perechi de pîrghii de
genul I.

Fig 48 b ; Instrumente
medicale care sînt perechi
de pîrghii de genul I.



De aici rezultă că condiția necesară și suficientă pentru echilibrul forțelor la un instrument de forma penei este ca raportul dintre forță și rezistență să fie același ca între mărimea bazei de apăsare și lungimea suprafeței laterale a instrumentului. Aceasta arată că un astfel de instrument este cu atât mai eficace cu cât baza e mai mică și deci cu cât el este mai ascuțit.

Tot ca pîrghii de genul al II-lea funcționează, așa cum am mai arătat, piciorul, care are ca rezistență greutatea corpului transmisă prin tibie și aplicată la nivelul articulației tibio-tarsiene: forța o dau mușchii inserați prin tendonul lui Ahile pe calcaneu, iar punctul de sprijin, în momentul cînd ne ridicăm în vîrfurile picioarelor, se află la extremitatea metatarsienelor în contact cu solul.

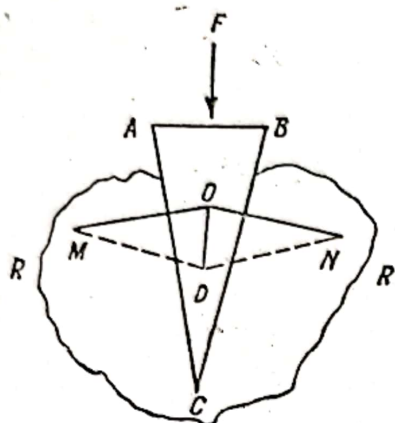


Fig. 49 — Pană (pîrghie de genul al II-lea).

Ca instrumente medicale care funcționează pe principiul pîrghiei de genul al II-lea folosim trepanul, bisturiile (fig. 50).

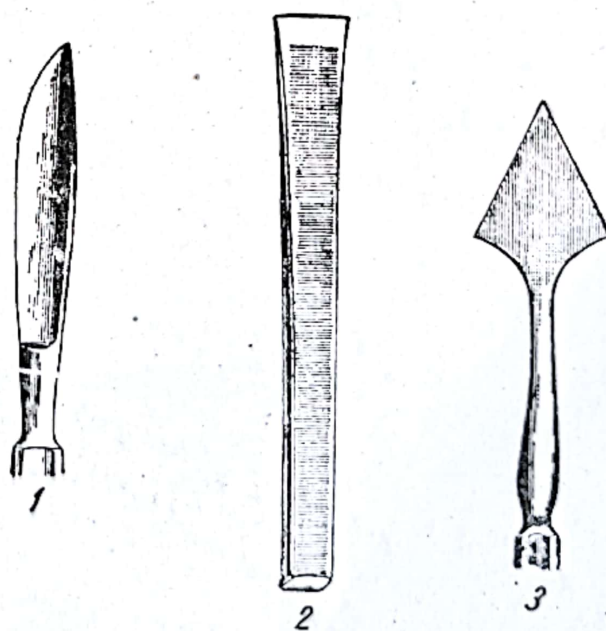
c) Pîrghiile de genul al III-lea. Pîrghiile de genul al III-lea sînt elemente de deplasare. Astfel, antebrațul în flexie (fig. 51), cînd mușchii flexori se contractă pentru a-l ridica, funcționează ca o pîrghie de genul al III-lea. Mușchiul biceps se contractă producînd astfel o forță care are punctul de aplicație pe ante-

braț. Deoarece forța F nu este normală la pîrghia osoasă respectivă, și cum numai componenta normală acționează în fiecare moment dat asupra acestei pîrghii, se descompune forța musculară F în cele două forțe componente F_1 și F_2 , dintre care F_2 este anulată de rezistența articulației, așa că lucrează efectiv numai F_1 producînd rotația antebrațului. Acesta se comportă deci ca o pîrghie de ordinul al III-lea. În general, distanța dintre punctul de aplicație a forței F și punctul de sprijin S este de opt ori mai mică decît distanța dintre punctul de aplicație a rezistenței R și punctul S . În acest caz, forța desfășurată de mușchi pentru a roti antebrațul și eventual greutatea pe care o ține în mînă este de opt ori mai mare decît această rezistență.

În schimbul acestei pierderi de forță avem însă un cîștig de deplasare. În adevăr, contracția de cîțiva centimetri a bicepsului determină o deplasare liniară aproximativ de opt ori mai mare a extremității antebrațului. Este deci respectată, și aici, legea conservării lucrului mecanic.

Pîrghii medicale și de laborator de genul al III-lea sînt: pensele anatomice, pensele de epilat, pedalele diferitelor aparate dentare, sanitare etc. (fig. 52).

Din această categorie menționăm dispozitivul de amplificare și înregistrare a mișcărilor, folosit



1 — bisturiu; 2 — daltă; 3 — lanțetă.
Fig. 50 — Pîrghii medicale de genul al II-lea

mult în deceniile trecute în cercetările de fiziologie, și anume capsula (tamburul) lui Marey, despre care am vorbit la metoda pantofului dinamografic. Modificările de presiune venite prin tubul T (fig. 53) produc deplasările membranei elastice M ; aceasta transmite deplasări verticale de valori mici ale membranei prin pîrghia SFR , în care F este foarte apropiat de S . Vîrfurile R va face deci oscilații mari, care se înregistrează pe un cilindru în rotație sau pe o hîrtie în desfășurare.

d) **Pîrghii umane multiple.** În corpul omenesc există grupe de pîrghii acționate de un singur mușchi; astfel de pîrghii, cum sînt falangele care au extensorii și flexorii comuni, se numesc pîrghii multiple. Se demonstrează teoretic și se verifică experimental că, la pîrghiile multiple, suma rotațiilor diverselor pîrghii osoase mișcate de un singur mușchi este egală cu rotația pe care ar determina-o acest mușchi, acționînd asupra unei singure pîrghii umane, mușchiul contractîndu-se cu aceeași lungime.

e) **Pîrghii asociate.** În mișcarea membrilor întîlnim de asemenea numeroase mișcări asociate ale diferitelor pîrghii osoase. Divizarea membrilor în segmente mobile între ele prezintă avantajul unei mari varietăți a mișcărilor posibile și al folosirii forței cu un randament mai mare. Astfel, datorită faptului că membrele superioare sînt compuse din două segmente, viteza liniară a mîinii, este mai mare cînd antebrațul descrie un unghi față de braț și concomitent brațul descrie un unghi față de trunchi.

Din examinarea fig. 54 se poate vedea cum aducerea mîinii la nivelul umărului se face într-un timp mai scurt dacă ambele segmente se mișcă concomitent decît în cazul cînd membrul superior se mișcă rigid.

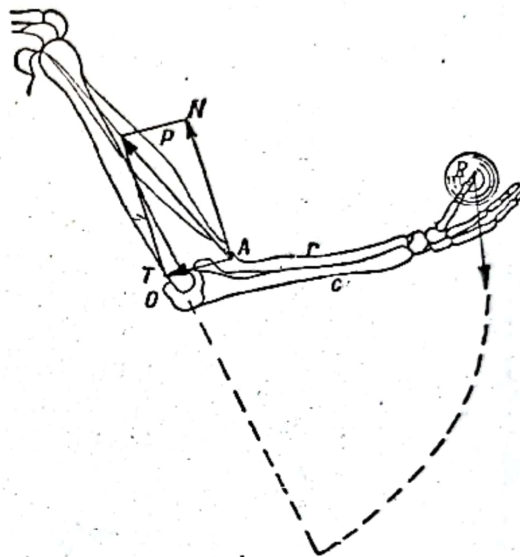


Fig. 51 — Schema antebrațului în flexie (pîrghie de genul al III-lea).

3. PÎRGHII DE TIP SPECIAL

Dintre pîrghiile speciale folosite în munca medicală, de cercetare și de vindecare, trebuie să ne oprim la scripeti și la balanțe; aceste aparate nu pot lipsi din clinică și laborator, unde sînt utilizate sub diferite forme.

a) **Scripetele** este în general un disc cilindric cu o scobitură în formă de șanț, care permite circulara unui cablu. Scripetele se poate roti în jurul unei axe care străbate discul, constituind axa lui de simetrie; scripetele se află astfel în echilibru indiferent.

Scripetele simplu sau fix funcționează ca o pîrghie de genul I. Brațele pîrghiei, fiind razele cercului de secțiune a cilindrului, sînt egale între ele, așa că pentru a ridica o greutate R trebuie să aplicăm o forță F egală cu R . Fiind o pîrghie de echilibru al forțelor, scripetele fix nu aduce înlesniri în ceea ce privește forța, dar oferă avantajul utilizării acestei forțe într-o direcție convenabilă efectuării lucrului mecanic necesar.

Scripetele compus constă dintr-un sistem de scripeti format dintr-un scripete fix și unul sau mai mulți scripeti mobili. Scripetele mobil func-

ționează ca o pîrghie de genul al II-lea, așa că putem să ridicăm cu o forță F o greutate R egală cu $2F$, deoarece brațul forței SF , care este diametrul în cerc, este de două ori mai mare decît brațul rezistenței SR , care este raza cercului. Vom avea deci

$$F \times 2r = R \times r,$$

de unde

$$F = \frac{R}{2}$$

și

$$2F = R.$$

Cu toate că folosind un astfel de sistem de scripeți putem învinge rezistența R cu o forță F egală cu $\frac{R}{2}$, totuși principiul conservării lucrului

mecanic este respectat, fiindcă pentru a ridica rezistența R la o înălțime, de ex. de 1 m, trebuie ca F să tragă în jos pe o distanță verticală de 2 m.

Aplicații medicale ale scripetilor. Atît scripetele simplu, cît și cel compus au numeroase întrebuintări în instalațiile secțiilor de radiologie, stomatologie, agenți fizici, unde multe aparate și dispozitive se

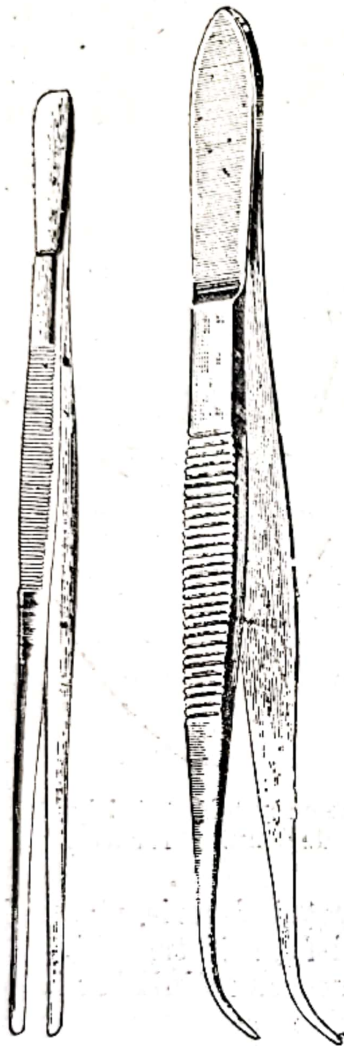


Fig. 52—Pensete medicale, perechi de pîrghii de genul al III-lea.

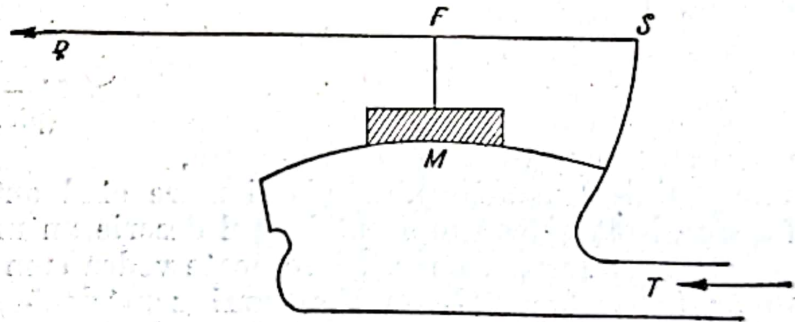


Fig. 53—Capsula lui Marey (pîrghie de genul al III-lea).

mișcă cu ajutorul scripetilor. Astfel, ecranul fluorescent de radioscopie se deplasează în sus și în jos cu ajutorul unui sistem de scripeți; burghiul dentar este pus în mișcare circulară printr-un dispozitiv cu scripeți etc.

O aplicație directă a scripetilor o găsim în chirurgie și în ortopedie; astfel, la reducerea fracturilor diafizei femorale și ale gambei se aplică încă din timpuri mai vechi extensia continuă a piciorului pînă la formarea calusului, în scopul de a se așeza părțile fracturate una în prelungirea celeilalte. Această extensie trebuie să fie continuă, căci altfel mușchii care sînt în neconținută contracție ar face ca cele două segmente ale osului fracturat să se suprapună în anumită măsură și să împiedice refacerea osului în formă normală.

Pentru a obține o extensie permanentă trebuie exercitată o tracțiune neîntreruptă, ceea ce s-ar putea face folosind o greutate care ar trage de picior în jos dacă bolnavul ar putea sta multă vreme în poziție verticală.

Cum însă starea sa cere poziția orizontală, și cum tracțiunea permanentă orizontală necesară, cu gradarea intensității respective, nu se poate face zile și săptămâni în șir de medic sau auxiliarul sanitar, se face tracțiunea legând greutatea de picior și trecând cablul de tracțiune printr-un aparat care cuprinde unul, doi, trei sau chiar patru scripeți ficși (fig. 55). Unele aparate ortopedice au dispozitive ingenioase, cadre, atele etc., în construcția cărora intră câțiva scripeți ficși. În fig. 56 este redat schematic un dispozitiv ortopedic (atelă) construit pentru a asigura repausul fiziologic al mușchilor antagoniști, în timp ce tracțiunea membrului inferior fracturat servește la orientarea fragmentelor unul către celălalt, în vederea unei bune sudări.

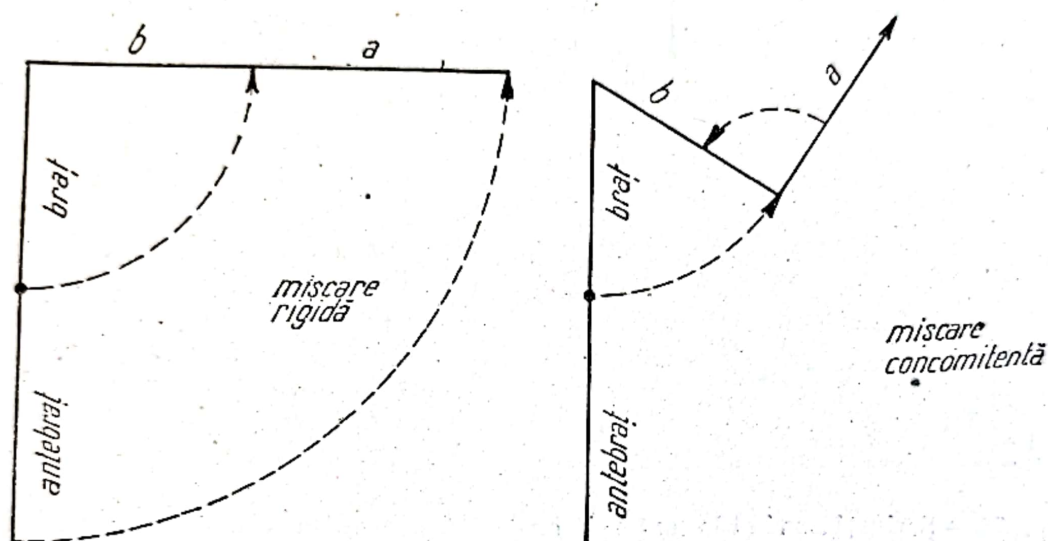


Fig. 54 — Mișcarea concomitentă a pârghiilor asociate.

O aplicație interesantă, de interes mai mult istoric, a scripetilor compuși, este aparatul cunoscut în ortopedie sub denumirea de gutiera lui Bonnet; cu ajutorul acestui aparat, un bolnav imobilizat în pat, cu piciorul în gips, își poate ridica trunchiul în poziție verticală cu propriile sale forțe, trăgând de un cablu care trece printr-un sistem de scripeți compuși. Un astfel de aparat economisește munca personalului auxiliar și are în același timp un bun efect psihologic, fiindcă redă bolnavului încrederea în propriile sale forțe.

b) Balanța analitică. Numeroasele tipuri de balanțe, folosite, atât în operațiile de cântărire curentă, cât și în cântăririle de laborator, nu au toate același grad de precizie și de sensibilitate. Balanța comună cântărește până la 1 gram, cea de farmacie până la 1 mg, iar balanța analitică până la o zecime de mg și chiar o sutime de mg; cu microbalanțele se pot cântări chiar microgramele.

Balanța analitică este un aparat de precizie care trebuie manipulat cu multă atenție. Ea este așezată într-o cutie cu pereți de sticlă mobili; cutia ferește balanța de acțiunea curenților de aer, evită depunerea de pulberi și coroziunea de către agenții gazoși din laborator. Balanța analitică are un postament greu, de marmură sau de substanțe sintetice similare. Ea are o serie de dispozitive care permit manipularea din exterior, spre a se evita stricăciunile și a se reduce la minimum influența factorilor externi (fig. 57).

În principiu, balanța analitică este o balanță cu brațe egale, cu două talere suspendate la cele două extremități ale unei pîrghii de genul I. Această pîrghie este metalică și construită astfel încît să fie cît mai rigidă pentru a rezista la flexie, torsiune etc.

La mijlocul acestei pîrghii este fixat cuțitul balanței format dintr-o prismă de oțel dur, cu baza triunghiulară și cu muchia foarte ascuțită.

Prisma se sprijină cu această muchie pe o placă de agat sau de oțel foarte dur, aflată la partea superioară a unui suport vertical. Pîrghia este omogenă; cele două brațe sînt perfect identice ca formă, lungime și greutate. Ele au lungimea de 10—20 cm. Solidar cu această pîrghie și paralel cu ea se află o pîrghie suplimentară, divizată în cîte o sută de părți egale, de o parte și de alta a planului de simetrie, și care servește la cîntărirea fracțiunilor de miligram cu ajutorul unei greutăți suplimentare, de sîrmă de platină subțire, numită călăreț sau cavalier.

De cuțitul principal al balanței este fixat un ac indicator subțire și lung, al cărui virf se mișcă în fața unui sector circular, fixat la partea inferioară a piciorului balanței.

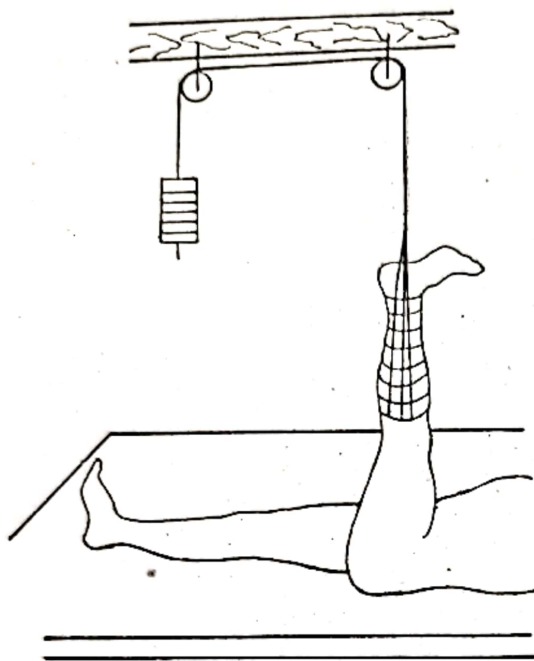


Fig. 55 — Scripeți servind la extensie cu ajutorul greutăților.

Talerele sînt atîrnate, prin cîrlige de formă specială, de niște cuțite de oțel dur, aplicate simetric la cele două extremități ale pîrghiei principale a balanței și cu muchia ascuțită în sus.

Cu ajutorul unui buton aflat la exteriorul postamentului, se comandă un sistem de pîrghii care ridică pîrghia principală a balanței de pe planul de agat și în același timp eliberează de pe cuțitele lor cele două talere, astfel ca, atunci cînd nu se lucrează cu balanța, cuțitele, care sînt prea fine și de integritatea cărora depinde buna funcționare a balanței, să nu se uzeze prin presiunea elementelor componente ale balanței. Același sistem permite și amortizarea mișcărilor talerelor, pentru ca oscilațiile să nu dureze prea mult și să nu prelungească inutil timpul de cîntărit.

Pentru așezarea și ridicarea greutăților mai mari pe talere, se deschide cutia balanței; greutatele mai mici se află uneori chiar în interior, suspendate pe pîrghii speciale, care pot fi manipulate de la exterior printr-un dispozitiv electric, ceea ce permite

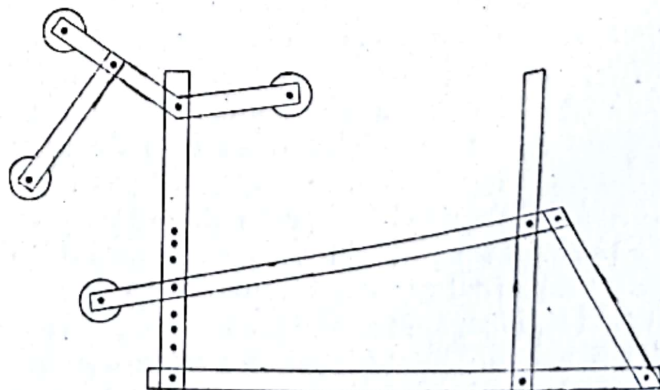


Fig. 56 — Atelă ortopedică cu 4 scripeți.

numeroase încercări și schimbări de greutate și subdivizionare, pe care le cere o cântărire de precizie, fără a se deschide de repetate ori cutia balanței. Greutățile marcate: grame, decigrame, centigrame și uneori și miligrame sînt metalice, au diferite forme și se manipulează cu cleștii, pentru evitarea depunerii unui strat de grăsime de pe mînă, care le modifică greutatea și poate altera chimicește substanța din care este făcută greutatea marcată și deci să-i schimbe valoarea.

Miligramele și decimiligramele se cântăresc de obicei deplasînd un mic cîrlig de sîrmă de platină (călăreț - cavalier) pe pîrghia orizontală gradată, care însoțește pîrghia principală a balanței. Această pîrghie secundară este gradată pînă la 10 mg de o parte și de alta a axului de simetrie.

Acest cavalier echilibrează de obicei o masă de 10 mg cînd este așezat la extremitatea pîrghiei și, dacă divizăm distanța dintre centrul de simetrie și extremitatea pîrghiei în 10 părți egale, fiecare segment va corespunde unui miligram.

Cum la unele balanțe analitice acest braț are lungimea de 20—25 cm, fiecărui miligram îi corespunde un segment destul de mare; acesta se poate diviza în 10, în 20 și chiar 40 părți egale, destul de distanțate între ele; cu ajutorul cavalerului se pot deci cîntări pînă la 25 micrograme.

Citirea diviziunilor de pe pîrghia cavalerului, precum și de pe sectorul circular în fața căruia oscilează acul balanței, se face, fie direct, fie cu ajutorul unei lupe sau al unui ecran translucid pe care se proiectează diviziunea respectivă (indicația).

Calitățile balanței analitice. O balanță analitică este un aparat de precizie care trebuie să aibă un ansamblu armonic de calități: să fie exactă, fidelă, sensibilă și stabilă.

Exactitatea sau justetea unei balanțe analitice este realizată dacă greutăți egale așezate pe platanele ei își fac echilibru și dacă acest echilibru persistă și cînd schimbăm între ele aceste greutăți.

După legea pîrghiilor, adică a egalității momentelor forțelor, avem:

$$P \times d = P' \times d'.$$

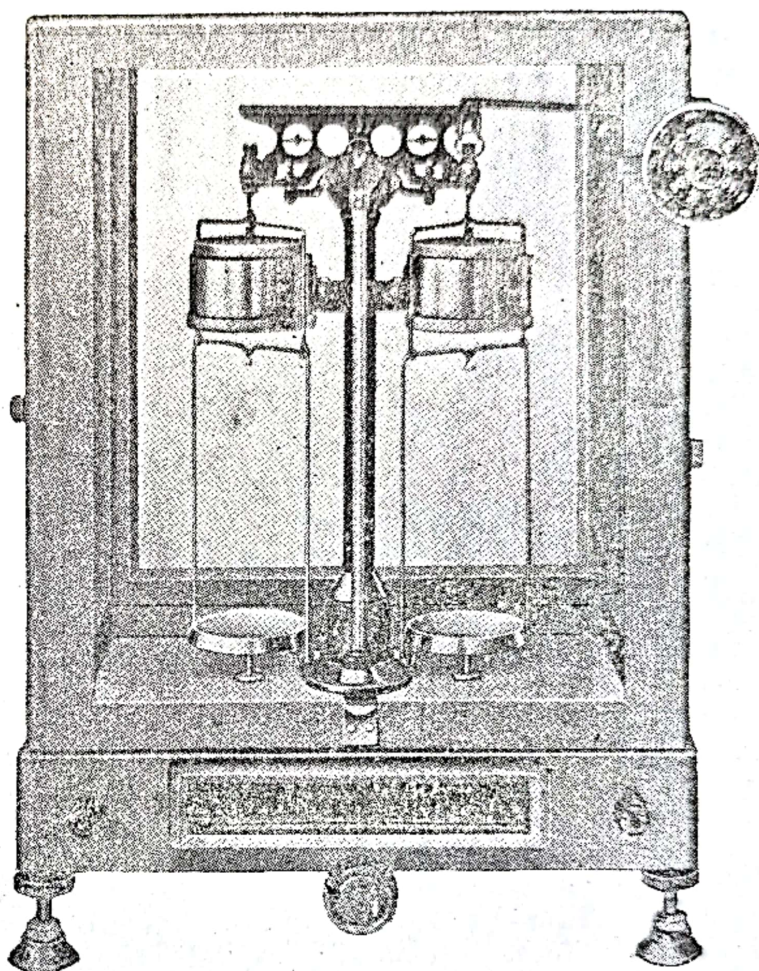


Fig. 57—Balanță analitică cu scală luminoasă, amortizoare cu aer, sensibilitate 0,1 mg.

Cum prin definiție greutatea sînt egale ($P = P'$), întrucît am folosit două greutăți perfect identice, urmează că $d = d'$.

Deci, condiția de justețe a unei balanțe este ca brațele d și d' ale balanței să fie perfect egale.

Deoarece în procesul de cîntărire nu intră însă numai brațele pîrghiei, ci și toate piesele care se mișcă împreună cu ele, talerele etc., justețea balanței este condiționată de exactitatea perfectă a tuturor pieselor dintr-o parte a balanței cu cele din partea cealaltă.

Exactitatea se obține deci printr-o construcție foarte îngrijită. O exactitate perfectă din punctul de vedere al construcției se realizează cu multă greutate; calculele arată că, pentru a cîntări 100 g cu o precizie de 1 dmg, cele două brațe ale pîrghiei nu trebuie să difere între ele cu mai mult de un micron. Cum aceasta nu se poate realiza în practică, cele două brațe au la extremitățile lor câte un șurub orizontal, de anumită lungime, pe care poate circula o piuliță. Manevrînd piulițele, ele se depărtează sau se apropie de șurubul care constituie o prelungire a pîrghiei, și astfel putem obține ca acul balanței să se poată stabili la punctul zero, adică balanța să intre în echilibru.

Justețea balanței se controlează lăsînd să oscileze acul indicator vertical al balanței pînă ce, trecînd alternativ de o parte și de alta a punctului zero, el se oprește la acest punct. Aceasta arată că balanța este astfel corectată încît poate fi considerată ca exactă în condițiile date. Exactitatea balanței trebuie controlată la fiecare cîntărire, fiindcă este de-ajuns să se depună un grăunte de pulbere pe un platan pentru ca echilibrul să fie stricat și acul balanței să nu se mai oprească la zero. În partea balanței care arată, de exemplu, o mărire a greutății, manevrăm piulița astfel încît s-o apropiem de brațele pîrghiei respective; restabilim astfel echilibrul și avem din nou balanța justă.

Fidelitatea unei balanțe se realizează dacă pentru a obține echilibrul ei așezăm corpul de cîntărit sau greutatea marcate în orice poziție și în orice loc, pe platanul balanței.

Se poate demonstra ușor că fidelitatea unei balanțe se obține numai dacă brațele pîrghiei au o lungime constantă, și deci sînt de construcție rigidă: muchiile cuțitelor trebuie să fie foarte ascuțite și perfect paralele, și să se afle în același plan. Fidelitatea balanței se verifică deplasînd corpul de cîntărit pe platan și făcînd să alunece cuțitele pe plăcile de agat.

Fidelitatea balanței este asigurată și de faptul că muchiile celor trei cuțite sînt paralele, căci calculele și experiențele arată că numai în acest caz brațele de pîrghie măsurate între muchiile cuțitului central și cele ale cuțitelor platanelor sînt egale.

Stabilitatea este o calitate legată de echilibrul balanței. Pentru a obține o bună cîntărire, trebuie ca prin manipularea balanței să nu se producă modificări în pozițiile ei și între părțile ei componente; de aceea, întreaga balanță trebuie să se afle într-un echilibru cît mai stabil cu putință. Pentru ca întregul aparat să fie stabil, postamentul este astfel construit încît să fie relativ greu față de restul balanței. Balanța propriu-zisă trebuie să aibă de asemenea o stabilitate mare, ceea ce se obține prin construcție, făcînd ca întreaga parte mobilă a balanței să aibă centrul de greutate sub punctul de sprijin, adică sub muchia cuțitului cu care este rezemată pîrghia și cît mai jos cu putință de acest punct. Aceasta se realizează construindu-se talerele cît mai lungi cu putință.

Sensibilitatea este însușirea cea mai prețioasă a balanței analitice. O balanță construită pentru sarcina T este sensibilă la o supraîncărcare p

dacă aceasta imprimă pîrghiei balanței o înclinare de un unghi apreciabil. Aprecierea acestui unghi se face observînd deplasarea acului indicator; virful acestuia face oscilații care se pot observa, fie cu ochiul liber, fie cu ajutorul unei lupe sau prin proiectare pe un mic ecran translucid, aflat la partea inferioară, centrală a balanței.

Se demonstrează că unghiul α cu care se înclină pîrghia balanței din cauza suprasarcinii p este dat de expresia

$$\alpha = \frac{p \cdot l}{\pi d}$$

unde p este suprasarcina; l este lungimea jumătății de pîrghie a balanței; $\pi = P + p + P'$ (unde P este sarcina, p suprasarcina și P' este greutatea pîrghiei), iar d este distanța de la centrul de greutate al sistemului mobil la centrul de rotație al pîrghiei (muchia cuțitului).

Din această expresie reiese că, pentru ca o balanță să fie sensibilă, adică unghiul α să fie mare, trebuie ca brațul l al pîrghiei balanței să fie lung. Această calitate este însă incompatibilă cu condiția de fidelitate, care cere ca pîrghia să fie rigidă și deci nu prea lungă, pentru a nu se produce flexii. Dîndu-se însă pîrghiei forma de triunghi sau de romb gol, ea este în același timp lungă, rigidă și ușoară.

Pe de altă parte, sensibilitatea balanței este invers proporțională cu π , deci este cu atît mai mare cu cît greutatea totală a pîrghiei balanței plus sarcina și greutatea suplimentară este mai mică. Sensibilitatea variînd cu greutatea totală, este necesar ca, dacă sînt de comparat mai multe greutăți succesive, să se facă cîntărirea după metoda cîntării cu sarcină constantă.

Unghiul α fiind invers proporțional cu distanța d , înseamnă că o balanță, cu cît e mai stabilă, adică are d (distanța dintre centrul de greutate și punctul de sprijin) mai mare, cu atît sensibilitatea ei este mai mică.

Sensibilitatea unei balanțe analitice se obține deci construind-o astfel ca centrul de greutate al sistemului mobil să fie cît mai aproape de punctul de sprijin, astfel ca echilibrul să fie cît mai aproape de cel indiferent.

Dacă muchiile celor trei cuțite pe care se sprijină pîrghia și platanele nu se află în același plan orizontal, aceasta echivalează cu o îndoire a pîrghiei, și deci cu o deplasare în jos a centrului de greutate, ceea ce aduce cu sine o micșorare a sensibilității.

Prin construcție și manipulare se face ca cele patru însușiri: exactitatea, stabilitatea, fidelitatea și sensibilitatea să se armonizeze astfel, încît balanța analitică să prezinte un maximum sintetic de precizie.

c) **Balanțe de tip special.** În laboratoare se întîlnesc diferite balanțe de tip special, întrebuintate la determinări de precizie în munca de cercetare și de analiză, precum și în practica medicală curentă. Astfel există microbalanțe, balanțe pentru serviciile de pediatrie și puericultură, balanțe pentru măsurători antropometrice, balanțe de torsiune etc.

Microbalanțele servesc pentru cîntărirea unor cantități foarte mici de substanță. Ele sînt de obicei construite pe principiul torsiunii unui fir de cuarț sau de sticlă. Astfel, microbalanța Nermet este construită dintr-un fir de cuarț așezat pe un suport metalic; acest fir suferă o torsiune sub acțiunea corpului care trebuie cîntărit. Balanța se etalonează măsurîndu-se deformațiile pe care i le imprimă greutăți cunoscute.

Balanța farmaceutică de masă are talerele egale și este sensibilă pînă la 1 mg. Balanța de mîină este sensibilă pînă la 1 cg.

Pentru *cîntăriri antropometrice* și pentru cele ce se fac în colectivele școlare, militare, sportive etc., în întreprinderi industriale, servește o balanță de tip decimal, pe a cărei pîrghie, în loc să se afle un taler cu greutate ca la decimalul obișnuit, circulă un cursor de greutate fixă; acesta indică greutăți diferite, în funcție de distanța la care se află de la punctul de sprijin al balanței. Acest principiu al greutății constante pe braț de lungime variabilă, care echilibrează o greutate variabilă, aflată pe un braț de pîrghie constant (principiul cîntarului roman), este aplicat, atît la balanța antropometrică, cît și la cea pentru copii. Ea face cîntările

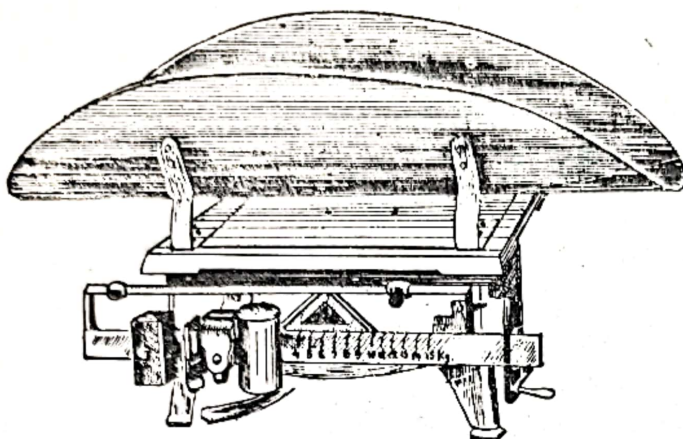


Fig. 58 — Cîntar cu scafă pentru sugari.

foarte lesnicioase, dar sensibilitatea ei nu trece de 100 g. Gradarea acestei balanțe se face prin calcul, iar verificarea, prin greutăți marcate.

De multe ori aceste cîntare sînt însoțite de o bară (tijă) verticală, gradată în centimetri, pe care se poate citi și înălțimea subiectului cîntărit. Aceste balanțe servesc la determinarea raportului dintre greutatea (kg) și înălțimea (dm) subiectului, raport de

valoare medie 4,2 la bărbat și 3,9 la femeie. Abaterea de la această medie constituie unele indicații pentru medic.

Pentru a urmări creșterea în greutate a copiilor mici se întrebuintează un cîntar cu coșuleț sau scafă, în care se culcă copilul, iar pîrghia de măsurat este gradată ca la cîntarul antropometric (fig. 58).

L. MECANOTERAPIA

În dezvoltarea terapiei prin agenți fizici a apărut în secolul trecut, în cadrul gimnasticii medicale, o metodă de folosire a unor aparate medico-mecanice pentru aplicarea mai lesnicioasă și mai rațională a acestei gimnasticii.

La începutul secolului al XIX-lea s-au imaginat și procedee mecanice pentru tratamentul unor afecțiuni articulare; au fost folosite aparate pentru mobilizarea anchilozelor genunchiului și piciorului, aparate oscilatoare pentru corectarea deviațiilor rahidiene etc. De la aceste aparate și metode, utilizate la început în mod empiric și sporadic, s-a ajuns la crearea unui sistem de aparate medico-mecanice pentru scopuri medico-chirurgicale și ortopedice, cît și pentru scopuri preventive, igienice, de cultură fizică etc.

De încheierea rațională a acestor metode într-un sistem unic, care a primit numele de mecanoterapie, este legată activitatea medicului suedez Gustav Zander.

Aparatele medico-mecanice permit analizarea efortului, dozarea lui exactă de către medic, excluderea mișcărilor accesorii, gradarea progresivă, măsurată și controlată pentru adaptarea exercițiilor la individul tratat. Aceste aparate servesc și în cercetările de mecanică umană.

Răspindite în spitale, servicii de fizioterapie, stațiuni balneare, spitale ortopedice, institute de educație fizică etc., aceste aparate au servit timp de aproape un secol, și multe din ele, modificate și perfecționate, mai sîrvesc și astăzi în terapeutică și îndeosebi în reeducarea celor cu capacitate fizică scăzută în urma traumatismelor, accidentelor de muncă, rănilor de război, bolilor deformante etc.

Aparatele de mecanoterapie sînt alcătuite în general din pîrghii de diferite forme și mărimi, cu brațe de lungime variabilă, și din scripeti, manivele, șaibe de transmisie etc. Rezistența pe care bolnavul trebuie s-o învingă este constituită, fie dintr-o greutate, mărită sau micșorată progresiv, după nevoia tratamentului, fie dintr-un cursor care, alunecînd pe pîrghie, ca la balanța romană, mărește sau micșorează momentul rezistenței pe care o învinge bolnavul.

Se cunosc numeroase tipuri de aparate de mecanoterapie. Toate aceste aparate pot fi însă împărțite în cîteva mari grupe, după modul de acțiune și după scopul pentru care sînt utilizate.

1. APARATE MEDICO-MECANICE PENTRU MIȘCĂRI ACTIVE

Aceste aparate pun în mișcare un anumit grup de mușchi: ai membrelor superioare, inferioare, ai toracelui, abdomenului, trunchiului. Bolnavul nu poate mișca segmentul respectiv decît în direcția fixată de aparat.

Aparatul are rezistență variabilă, pentru a se putea adapta la variația contracției musculare. Astfel, flexia activă a genunchiului se face cu ajutorul unei pedale pe care subiectul o mișcă cu piciorul și căreia i se dă, printr-o contragreutate, rezistența necesară efortului variabil ce se cere piciorului, pe măsura progresării tratamentului. Rezistența variabilă se obține cu ajutorul unui cursor greu, care alunecă pe o pîrghie, mărinđ sau micșorînd momentul rezistenței de învins, și dozînd astfel lucrul mecanic pe care trebuie să-l facă bolnavul cu piciorul.

Toate aparatele pentru mișcări active sînt puse în mișcare prin forța musculară a bolnavului. Prin rezistența variabilă a organelor sale, aparatul opune o rezistență dozată efortului muscular, determinînd astfel, atît forma mișcării, cît și amplitudinea ei. Aparatele active se construiesc în mai multe tipuri: pentru mișcările active ale membrelor superioare (rotirea cotului), ale membrelor inferioare, ale brațului și ale trunchiului. În fig. 59 este redat un aparat folosit pentru mișcarea activă a brațului.

Mișcările pe care le face subiectul, manipulînd aceste aparate, activează circulația sîngelui și a limfei, tonifică sistemul nervos și au efecte fiziologice în general bune.

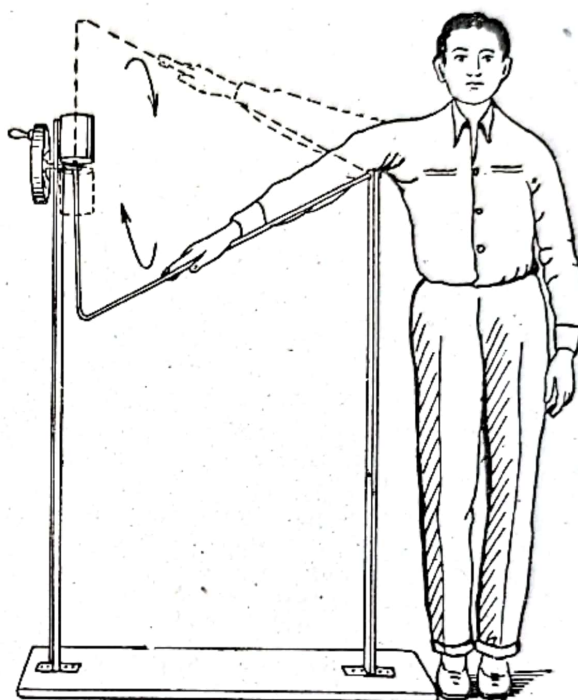


Fig. 59 — Aparat pentru mișcarea activă a brațului.

2. APARATE PENTRU MIȘCĂRI PASIVE

Aparatele medico-mecanice pentru mișcări pasive sînt puse în mișcare printr-un electromotor, a cărui turație poate fi reglată astfel încît mișcarea transmisă de motor aparatului să corespundă ca ritm, formă și amplitudine mișcării pe care aparatul trebuie să o imprime, fie întregului corp, fie numai unui segment sau unui membru; această mișcare poate fi continuă ori alternativă, verticală, orizontală, ori circulară. Subiectul are un rol pasiv; el nu face nici un efort în timpul tratamentului.

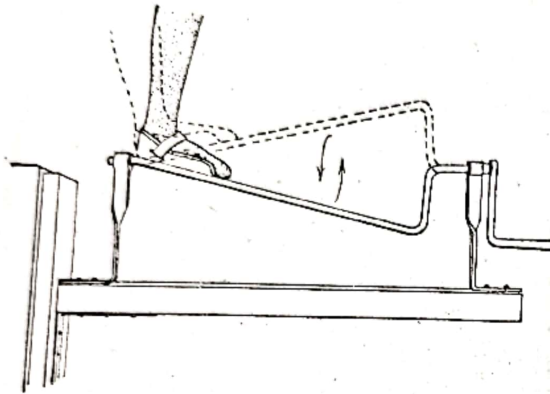


Fig. 60 — Aparat pentru mobilizarea articulației tibio-tarsiene (mișcare circulară).

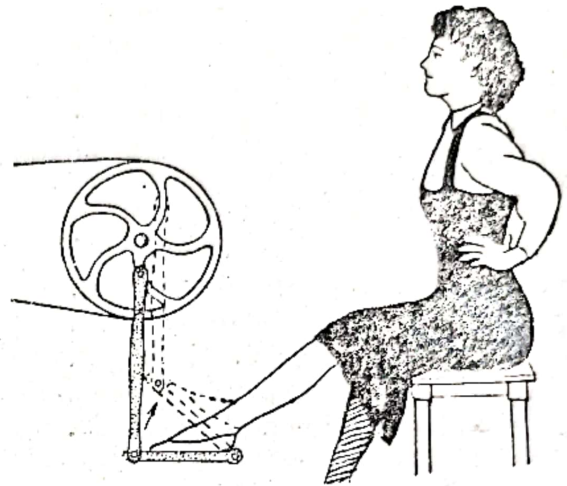


Fig. 61 — Aparat pentru mișcarea pasivă a articulației tibio-tarsiene (mișcarea într-un singur plan).

Aparatele pentru mișcări pasive sînt de mai multe tipuri. Cele mai importante prin domeniul de aplicație și rezultatele obținute sînt cele pentru mobilizarea pasivă a articulațiilor.

Aparatele cu mișcare pasivă mai pot fi puse în mișcare de auxiliarul sanitar sau chiar de bolnav, cu unul din membrele sale sănătoase. Unele din aceste aparate reproduc mișcările de gimnastică, altele imprimă trunchiului mișcări de ansamblu. Mai sînt apoi aparate pentru mobilizarea articulației tibio-tarsiene, a șoldului, pentru rotirea mîinii, piciorului etc. (fig. 60 — 62). Aparatele de balansare și oscilații fac de asemenea parte din această categorie.

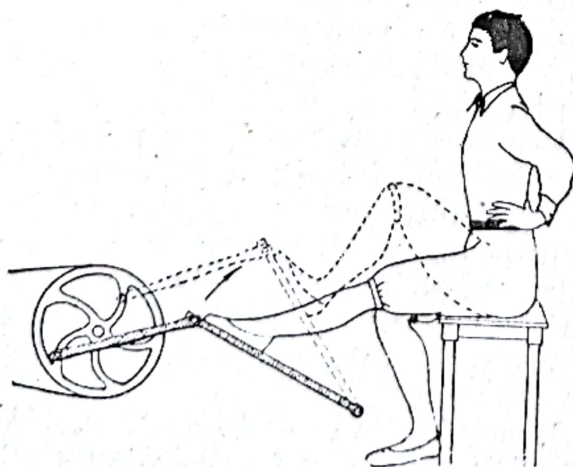


Fig. 62 — Aparat pentru mobilizarea șoldului (mișcare pasivă).

Aparatul pentru pronația și supinația alternativă a antebrațului are un mîner pe care-l ține bolnavul cu mîna și care se mișcă alternativ, de un unghi reglabil, în jurul unui ax longitudinal, cu ajutorul unui volan mișcat de un motor electric sau cu o manivelă mișcată de un auxiliar sanitar. Aparatul imprimă mișcări pasive și are un dispozitiv simplu pentru reglarea vitezei chiar de către bolnav.

Aparatul pentru desțepenirea degetelor este construit astfel încît

antebrațul este fixat, iar degetele sînt prinse între două piese metalice căptușite cu stofă; brațul este liber și poate imprima antebrațului, și deci și aparatului în care sînt prinse degetele, o mișcare înainte și înapoi. Degetele sînt astfel flectate și extinse pasiv; articulația se mlădiază, tendoanele se alungesc, se eliberează aderențele. Forța întrebuintată de aparat pentru a imprima mișcarea pasivă degetelor este furnizată de bolnavul însuși, prin împingerea aparatului, cu brațul, înainte și înapoi.

Scaunul pivotant este un aparat de mecanoterapie de tip special, folosit pentru exercițiile fizice necesare cardiacilor. Aparatul mobilizează musculatura în general și cea a pereților abdominali în special, fără ca bolnavul să obosească. Mișcarea pasivă a întregului conținut abdominal descongestionează circulația abdominală și ușurează efortul inimii.

În general, aparatele pentru mișcarea pasivă au efecte favorabile asupra mușchilor, tendoanelor, ligamentelor și capsulelor articulare, mărindu-le rezistența și elasticitatea și ameliorînd circulația și nutriția organismului.

3. APARATE PENTRU MIȘCĂRI MIXTE

Aparate pentru mișcări mixte, active și pasive în același timp, sînt cele în care mișcările aparatului sînt însoțite de cele imprimate de bolnav. Din această categorie face parte aparatul de activare metodică a respirației. Acest aparat funcționează astfel: pentru activarea inspirației, brațele bolnavului, prinse de o pîrghie, se depărtează orizontal, deplasînd astfel activ pîrghia; efortul încetează, pîrghia, care are resorturi elastice, revine și aduce brațele pacientului la loc, făcînd expirația în mod pasiv. Bolnavul debilitat este astfel supus la mișcări periodice de respirație, care favorizează o ameliorare a metabolismului.

4. APARATE ORTOPEDICE

Aparatele ortopedice sînt folosite pentru corectarea devierilor coloanei vertebrale și celor ale trunchiului. Unele din aceste aparate produc o redresare statică, altele o redresare activă.

Unele servesc la măsurarea și redarea grafică sau în cifre a abaterilor de la conturul normal, vertical sau orizontal, al trunchiului, la stabilirea gradului de deviere a coloanei vertebrale și la urmărirea evoluției deformăției sau a tratamentului.

Dintre aparatele ortopedice pentru corectarea devierii coloanei vertebrale la copii se utilizează planul înclinat medico-mecanic. Copilul, culcat pe o parte, se ține cu minile de niște bare orizontale așezate într-un cadru vertical (spaliere), la căpătiul planului înclinat. Se dă planului o înclinare progresivă; presiunea corpului se exercită asupra părții care trebuie comprimată pentru a se reduce deformăția.

5. APARATE MEDICO-MECANICE PROFILACTICE

În afară de aparatele medico-mecanice curative se construiesc și se folosesc și aparate mecanice profilactice, de educație fizică, pentru exerciții corporale preventive, pentru reducerea obezității etc.

Metoda medico-mecanică și mecanoterapia, în afară de părțile pozitive de care ne folosim și astăzi, au întîmpinat obiecții juste, îndeosebi cu privire la faptul că se mecanizează ajutorul medical, și deci de multe

ori se pot depăși intențiile și dozajul medicului, că nu se poate opri la timp aparatul, că întreaga metodă mai păstrează din caracterul mecanicist din secolele trecute, legat de iatromecanica, pentru care corpul omenesc nu era decât un sistem mecanic.

Rațional aplicată și folosită în lumina noilor concepții în medicină, mecanoterapia aduce foloase practice, atât în domeniul preventiv și profilactic, de educație fizică și cultură fizică, cât și pentru recuperarea integrității fizice și a forței de muncă a diferiților accidentați din câmpul muncii, a celor care au suferit traumatisme de diferite categorii sau deformații consecutive anumitor boli.

M. ELASTICITATEA

1. CORPURI RIGIDE ȘI CORPURI MOI

Elasticitatea este una dintre proprietățile generale ale materiei. În natură nu există corpuri neelastice, ci numai corpuri mai elastice și mai puțin elastice.

Toate corpurile pot fi deformatе prin acțiunea unor forțe exterioare: ele diferă numai prin intensitatea cu care rezistă la aceste forțe deformante, care pot fi mai mult sau mai puțin puternice. Un efort minim ajunge pentru a obține deformarea unei lame de cauciuc, în timp ce pentru a obține același rezultat asupra unei vergele de oțel trebuie să desfășurăm o forță foarte mare.

Din punctul de vedere al elasticității, corpurile se clasifică în corpuri rigide, cum este oțelul, și corpuri moi, cum este ceara.

Se numesc corpuri rigide cele la care nu se poate obține o deformare, adică o îndepărtare sau o apropiere a moleculelor, decât cheltuind un lucru mecanic considerabil. La corpurile moi, deformarea se obține fără prea mult efort.

Dar, atât corpurile rigide, cât și cele moi au însușirea ca, atunci când dispăre acțiunea forței care a produs deformarea, să dispară și deformarea însăși. Această însușire se numește elasticitate.

O primă examinare arată că corpurile nu se deosebesc între ele numai prin rezistența lor mai mare sau mai mică la deformare, ci și prin proprietatea pe care o au de a relua forma inițială de îndată ce forța a încetat de a mai acționa. Astfel, o sîrmă de fier arsă, o vergea de plumb, o bucată de ceară, se îndoaie cu un efort mic și rămîn astfel deformatе. În același timp însă, o lamă de oțel sau o placă de cauciuc își reiau forma de la început de îndată ce nu mai sînt supuse acțiunii unor forțe exterioare.

S-ar părea deci că există corpuri elastice (oțelul, cauciucul) și neelastice (plumbul, ceara). În realitate, deosebirea constă numai în gradul de elasticitate ce apare evident în condițiile în care se lucrează, în care se aplică forța deformantă. Astfel, o bară de ceară își poate relua în anumite condiții forma de dinainte, iar un fir de oțel poate păstra deformarea căpătată.

2. DEFORMAȚIA ELASTICĂ

În studiul capitolului de mecanică intitulat „Elasticitatea” folosim noțiunea de *deformație elastică*, deformație temporară, care dispăre de îndată ce forța deformantă nu mai acționează. Dacă acțiunea forței a depășit însă *limita de elasticitate* a substanței respective, în condițiile date, deformarea rămîne permanentă și ia denumirea de *deformație plastică*.

Elasticitatea se poate constata și la corpurile fluide: lichide și gaze. Exercitând, cu ajutorul unui piston, o presiune foarte puternică la lichide și mai slabă la gaze, obținem o modificare a volumului fluidului respectiv; De îndată ce presiunea încetează, încetează însă și modificarea de volum. fluidul împinge pistonul înapoi, pînă ce acesta își reia locul de la început.

Studiul elasticității se poate face folosind diferite forțe deformante; cele mai mult întilnite în biologie sînt: tracțiunea și compresiunea.

Vom folosi o analiză a tracțiunii și a efectelor ei elastice pentru a defini noțiunile în materie de elasticitate.

Dacă se fixează o sîrmă de oțel sau un fir de cauciuc, de lungime L , de partea superioară, iar de partea inferioară se atîrnă pe rînd greutatea de diferite mărimi, se constată că firul se întinde în lungime în mod variabil.

Cantitatea a cu care s-a alungit firul are valoarea următoare:

$$a = \frac{L \cdot P}{S \cdot E} \quad (1)$$

Această formulă exprimă legea descoperită experimental de R. Hooke (1635—1703) în secolul al XVII-lea. Ea arată că alungirea unui fir elastic, supus unei tracțiuni, este direct proporțională în primul rînd cu lungimea L a firului elastic; în adevăr, experimentînd cu un fir care se deformează elastic mai ușor, cum este firul de gumă, și dispunînd diferite repere pe el (de exemplu, după fiecare cm sau dm), se constată că alungirea se produce în fiecare segment, deci în toată lungimea firului, și nu numai la capetele lui. Alungirea mai este apoi direct proporțională cu forța tensoare P ; folosind pe rînd o greutate dublă, triplă etc., obținem o alungire dublă sau triplă a firului. Alungirea este invers proporțională cu secțiunea S a firului elastic; experiența arată că, cu cît secțiunea este mai mare, cu atît alungirea este mai mică. În fine, alungirea este invers proporțională cu o mărime pe care o notăm cu E și care se numește *modulul de elasticitate*; acesta depinde de natura corpului, adică de raporturile reciproce dintre forțele intermoleculare ale corpului respectiv. Pentru aceeași forță tensoare, o aceeași lungime și aceeași secțiune, alungirea va fi cu atît mai mică cu cît modulul de elasticitate este mai mare. Deci, pentru a alungi elastic un corp cu un modul de elasticitate mare (oțelul, de exemplu) este nevoie de o forță tensoare foarte mare.

Materialele se mai caracterizează și prin mărimea α , numită coeficient de elasticitate și care are valoarea inversă a modulului de elasticitate $\left[\alpha = \frac{1}{E} \right]$

3. MODULUL DE ELASTICITATE

Din formula care reprezintă legea lui Hooke se poate scoate valoarea modulului de elasticitate, care are expresia:

$$E = \frac{L \cdot P}{a \cdot S} \quad (2)$$

Această mărime fizică, numită și modulul lui Young, se poate măsura. În practică, se dă în formula (2) valoarea de 1 kg pentru forță și 1 mm² pentru secțiune; în acest caz, E devine:

$$E = \frac{L}{a} \quad (2a)$$

Deci, modulul de elasticitate reprezintă raportul dintre lungimea L a unui corp cu secțiunea de 1 mm și alungirea elastică a provocată de o forță de 1 kg.

Dacă însă se consideră lungimea $L = 1$ și alungirea $a = 1$, expresia (2) capătă forma următoare:

$$E = \frac{P}{S} \text{ în kg/mm}^2, \quad (2b)$$

ceea ce înseamnă că modulul de elasticitate este egal cu efortul P/S , adică cu numărul de kilograme care trebuie să acționeze pe fiecare mm^2 de secțiune a corpului pentru ca acest corp să-și dubleze lungimea, dacă nu se produce o ruptură în decursul aplicării acestei forțe.

În tabelul 6 sînt date valorile modulului de elasticitate pentru cîteva materiale uzuale, la tracțiuni longitudinale.

Tabelul 6

Modulul de elasticitate în kg/mm^2 la 18°

Oțel cu wolfram	24 200
Fier comun	20 000
Platină	17 000
Fontă	12 000
Cupru laminat	12 000
Bronz	11 500
Alamă laminată	9 500
Aur	8 000
Duraluminu	7 200
Cuarț	6 900
Aluminiu	6 800
Sticlă	4 900
Beton	2 000
Plumb	1 700
Gheață	1 000
Lemn (axial)	1 000
Zidărie de piatră	600
Gips	360
Zid de cărămidă	300
Lemn (radial)	100
Ebonită	26
Curea de piele	20
Cauciuc	0,6

[4. FORȚA ELASTICĂ

Dacă exercităm o tracțiune sau compresiune asupra unui corp, astfel încît să se producă o deformare elastică, corpul supus deformării exercită la rîndul său o reacție, potrivit legii a treia a lui Newton, asupra corpului care a produs deformarea. Această reacție, egală în valoare și de sens contrar cu tracțiunea sau compresiunea se numește *forță elastică*. Astfel, dacă de un arc spiral atîrnăm o greutate de P kg, aceasta va exercita o tracțiune în jos asupra arcului spiral; în același timp, arcu va exercita o forță elastică tot de P kg, trăgînd greutatea în sus.

Este evident că, pentru un anumit corp, forța elastică este variabilă, fiindcă depinde de forța tensoare căreia i se opune, pe cînd modulul de elasticitate este o constantă fizică pentru fiecare corp, în condiții date.

Pentru a examina transformările energetice care fac să apară forța elastică, să considerăm intuitiv un arc elastic de oțel care închide, de exemplu,

o uşă grea de metal. Pentru a deschide uşa cheltuim un lucru mecanic exprimat prin produsul dintre forţa muşchilor braţului şi deplasarea uşii. Încetînd apăsarea, dar ţinînd rezemată uşor mîna pe uşă, arcul se destinde şi apasă treptat asupra mîinii, împingînd-o înapoi, pînă ce uşa se închide. Uşa, închizîndu-se, face acelaşi lucru mecanic ca la deschiderea ei, adică dezvoltă aceeaşi forţă pe acelaşi drum.

O analiză energetică elementară arată că lucrul mecanic cheltuit pentru deschiderea uşii a încordat arcul, care a căpătat astfel energia potenţială echivalentă; de îndată ce presiunea a încetat, energia potenţială a arcului se transformă treptat în energie cinetică, adică furnizează lucrul mecanic cheltuit, conform legii conservării energiei.

Dacă sistemul care dezvoltă forţa elastică este perfect elastic, atunci întreaga energie ce i-a fost transmisă este redată sub formă de lucru mecanic; dacă corpul deformat este mai puţin elastic, el restituie în mai mică măsură lucrul mecanic, deci lucrul cheltuit este în parte risipit. Deformaţiile elastice se produc deci cu „pierdere” de lucru mecanic, forţa elastică dezvoltată nefiind totdeauna suficientă pentru a reda lucrul mecanic cheltuit la deformarea corpului, deoarece o anumită parte se risipeşte prin învingerea frecărilor, prin transformare în căldură etc.

Măsurătorile arată că forţa elastică este proporţională cu forţa tensoare folosită pentru obţinerea deformaţiei.

5. UTILITATEA ELASTICITĂŢII

Elasticitatea apără corpurile de deformare permanentă şi de ruptură. Un corp moale, de ceară de exemplu, care suferă o lovitură, se deformează definitiv, iar unul prea rigid, de sticlă de exemplu, se sparge. În acelaşi timp, un corp elastic suferă o deformare temporară care nu-i atinge integritatea formei.

Elasticitatea „economiseşte” lucrul mecanic în anumite condiţii de aplicare a forţelor. Dacă un animal trage un vehicul, tracţiunea nu este continuă, deoarece mişcările ritmice ale mersului imprimă o serie de acţiuni care se traduc prin smucituri exercitate asupra punctelor unde se aplică forţa animalului la vehicul.

Intercalînd un dinamometru înregistrator pe traiectul dispozitivului cu care animalul trage vehiculul, se constată că, pentru a obţine aceeaşi deplasare, lucrul mecanic efectuat depinde de elasticitatea legăturilor dintre dispozitivul de tragere şi vehicul. Dacă între şleauri şi vehicul se intercalează un arc elastic convenabil ales, tracţiunile bruşte, scurte, întind arcul, iar acesta dezvoltă o forţă elastică ce continuă să tragă vehiculul chiar în faza de efort minim al animalului.

Marey, studiînd efectul legăturii elastice, a stabilit că, dacă această legătură este aleasă convenabil, ea permite să se cheltuiască cu 25% mai puţin lucru mecanic pentru o anumită deplasare decît dacă legătura este rigidă.

Pentru a demonstra că fiecare smucitură produce o pierdere de lucru mecanic şi că, în transmiterea şocurilor, legăturile elastice au o deosebită însemnătate, Marey a construit un aparat compus, în principiu, dintr-o pîrghie AOB (fig. 63), cu braţe egale, şi care nu se poate înclina decît înspre B . Legînd de extremitatea A , care poate face mişcarea numai în sus, o sferă în greutate de 50 g, cu ajutorul unei sîrme rigide, iar de partea B , legînd o sferă în greutate de 10 g, prin intermediul unui fir lung de aţă, este evident că, în poziţia de repaus, sfera mică nu poate înclina pîrghia de partea ei,

iar sfera mare nu o poate face, brațul de pîrghie fiind împiedicat în partea inferioară. Chiar dacă ridicăm sfera mică la o anumită înălțime și o lăsăm să cadă, energia cinetică dezvoltată în cădere nu este destul de mare pentru a face să se incline pîrghia AOB . Legînd însă sfera de 50 g de pîrghie cu ajutorul unui fir de cauciuc sau cu un resort spiral de oțel, și repetînd experiența, sfera cea mică, în cădere, produce inclinarea pîrghiei, și deci ridicarea sferei mari. A intervenit deci, pe lângă energia cinetică, și forța elastică dezvoltată în fir în timpul șocului (căderii) bilei mici; această forță elastică a făcut ca sfera mare să se ridice. În cazul unei legături elastice se observă dispariția șocurilor, care, în primul caz, zguduiau întreg aparatul fără să ridice sfera cea mare.

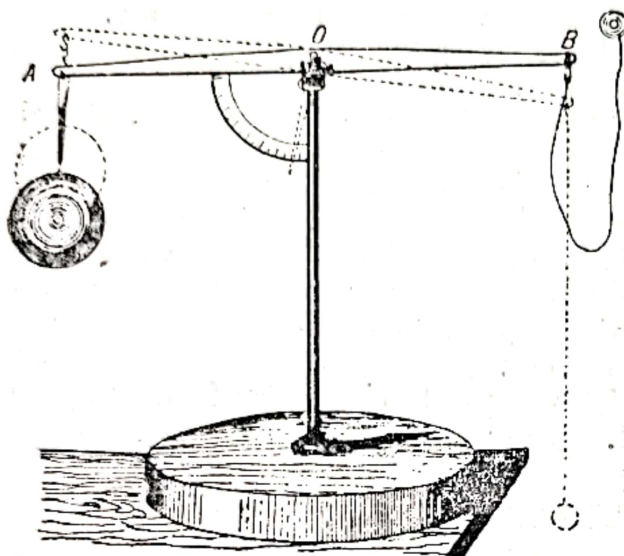


Fig. 63 — Aparatul lui Marey pentru demonstrarea rolului legăturilor elastice în transmiterea acțiunii bruște.

6. ROLUL ELASTICITĂȚII ÎN MEDICINĂ

În mecanica animală întîlnim nenumărate exemple de aplicare a elasticității. Ea se întîlnește în toate țesuturile și este deosebit de accentuată în mușchi și într-o anumită parte a țesutului conjunctiv, care din această cauză a și fost numit țesut elastic. Este aplicată și o metodă, numită elastometrie, care cuprinde determinarea elas-

ticității în țesutul conjunctiv viu și care poate prezenta o oarecare importanță pentru unele probleme clinice și patologice.

Mișcările corpului în timpul mersului, alergării și săriturii se pot face cu înleșnire din cauza elasticității diferitelor elemente anatomice. În studiul și practica medicinei, elasticitatea are un rol însemnat. Dinamometrele sînt construite pe principiul deformației elastice; de asemenea, cordoanele de cauciuc, pompele de cauciuc, bandajele, sînt elastice.

În activitatea cotidiană și în procesul muncii, elasticitatea are de asemenea un rol însemnat, atît pentru menținerea sănătății, cît și pentru prevenirea unor afecțiuni și diformități: pentru amortizarea trepidațiilor din vehicule, care pun în primejdie sănătatea personalului de deservire, se folosesc materiale elastice la construirea șoselelor, autostradelor, căilor ferate și de tramvai electric etc.; la vagoane, autobuze, automobile și la camioane automobile sau hipomobile, caroseria sau platformele se montează pe arcuri elastice. Scaunele se montează de asemenea pe arcuri. Geamurile ferestrelor acestor vehicule se fixează în benzi de cauciuc pentru a nu vibra.

În fabrici, pentru a se evita sau micșora zdruncinăturile produse de vibrațiile mașinilor, unele din acestea sînt instalate pe postamente elastice; altele, pentru a nu transmite prin sol zdruncinăturile, sînt izolate de terenul din jur prin șanțuri adînci, umplute cu material neelastice, cenușă, zgură etc.

Pentru protecția muncii în mine, unde se utilizează perforatorul și dalta cu aer comprimat la tăierea blocurilor de cărbune în abataje, precum și la tăierea betonului și asfaltului pavajelor de pe străzi, a rocilor din tuneluri,

din carierele de piatră etc., aparatele au un manșon de amortizare a zdruncinăturilor, în care elementul elastic care se opune zdruncinăturilor îl constituie o cantitate de aer comprimat, furnizat tot de compresorul ce acționează perforatorul pneumatic.

N. REZISTENȚA

Rezistența este reacția egală în valoare și de sens contrar pe care o opun materialele la tracțiune, compresiune, flexie, torsiune, forfecare etc.

În procesul de rezistență se definește noțiunea de rezistență specifică, ce are valoarea $R = F/S$ și se măsoară în kg/mm^2 .

În capitolul de mecanică ce se ocupă cu rezistența, și care în tehnică ia numele de „rezistența materialelor“, se studiază această rezistență la diferite acțiuni exercitate de forțe din afară: tracțiune, compresiune etc.

Am arătat că, dacă o forță de tracțiune depășește limita de elasticitate, se produce o deformare permanentă. Dacă se continuă mărirea forței, corpul se lungeste și se subțiază din ce în ce, până se rupe.

La o compresiune care a depășit limita de elasticitate, corpul este strivit.

1. REZISTENȚA LA TRACȚIUNE

La tracțiunea exercitată asupra unui corp cilindric, rezistența la rup-tură nu depinde decât de secțiunea corpului și de coeficientul de rezistență.

În tabelul 7 sînt date cîteva cifre medii care arată rezistența la tracțiune în kg/mm^2 pentru diferite țesuturi din organism, în comparație cu metalele.

Tabelul 7

Rezistența la rup-tură prin tracțiune (valori medii în kg/mm^2)

Țesuturi		Metale	
Mușchi	0,038	Aluminiu	12
Artere	0,14	Fontă	21
Vene	0,18	Cupru	24
Tendoane	6,25	Fier moale	41
Oase	7,99	Oțel	55

În ceea ce privește rezistența țesuturilor la tracțiune, ea variază foarte mult cu starea lor și îndeosebi cu gradul de uscăciune și cu temperatura țesuturilor.

2. REZISTENȚA LA COMPRESIUNE

Ca și la tracțiune, rezistența la compresiune a unui corp de formă cilindrică sau prismatică, de-a lungul axei, este proporțională cu secțiunea corpului. Aceasta este adevărat numai dacă nu are loc o flexie (îngenunchiere sau flambaj), care s-ar putea produce din cauza compresiunii.

Un corp supus unei compresiuni este cu atît mai expus la îngenunchiere cu cît este mai lung și mai subțire, fapt stabilit încă de Euler (1707—1783).

Pentru a evita rup-turi prin flexie, corpul supus compresiunii nu trebuie să fie prea lung și subțire, ci să i se dea o astfel de formă încît să

reziste la flexii. Forma ce trebuie dată va reieși din demonstrația pe care o facem pentru compresiunea în grosime.

Considerind un corp de formă paralelipipedică, o grindă de exemplu, încadrată într-un zid (fig. 64) și care suportă presiunea unei forțe puternice F în mijlocul ei, dacă apăsarea va fi prea mare, grinda se va îndoi, fiecare din fibrele sale luând forma unei curbe cu concavitatea în sus, săgeata (diferența de nivel la mijlocul grinzii curbate) având o mărime limită.

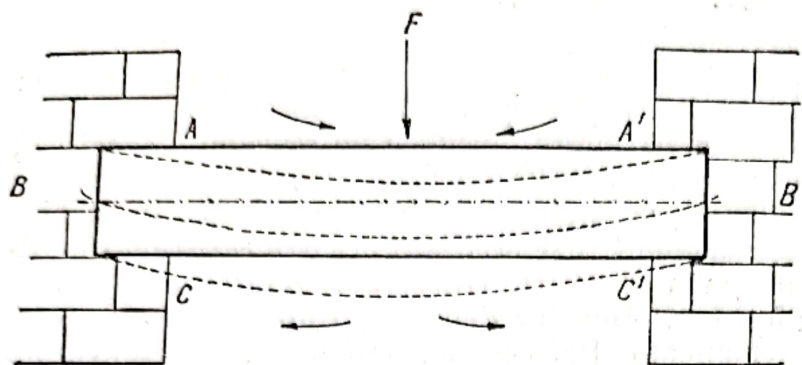


Fig. 64 — Efectele forței F asupra unei grinzi paralelipipedice.

același timp, în stratul superior AA' are loc o compresiune în sensul apropierii lui A de A' , pînă cînd se va produce o *ruptură*, de data aceasta, *prin compresiune*. Considerînd însă un strat central, din mijlocul grinzii, stratul BB' , acesta rămîne neschimbat; el nu este deci obiectul nici unui efort, nici la tracțiune, ca stratul inferior, nici la compresiune, ca cel superior. Acest strat, neintrînd în procesul de rezistivitate, poate deci lipsi. De aceea, unei grinzi care trebuie să suporte o greutate cînd este rezemată la cele două capete pe niște suporturi, i se dă o formă de I sau T, adică se înlătură substanța din straturile neutre care nu trebuie să opună rezistență. La traversele de oțel în formă de I, talpa inferioară rezistă la tracțiune, iar cea superioară la compresiune; pentru unirea acestor două părți se folosește un minimum de material. Aceasta este forma grinzilor de oțel folosite în construcțiile moderne, a șinelor de tren și de tramvai.

Pentru ca un corp să reziste la flexie în toate direcțiile trebuie să îndeplinească aceste condiții în toate direcțiile posibile.

Cînd tălpile de rezistență sînt destul de apropiate și se reazemă una de alta, corpul trebuind să reziste în toate

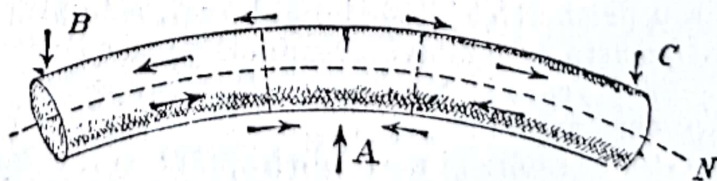
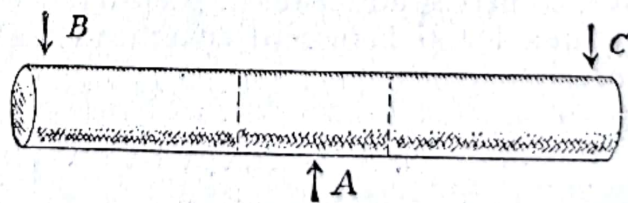
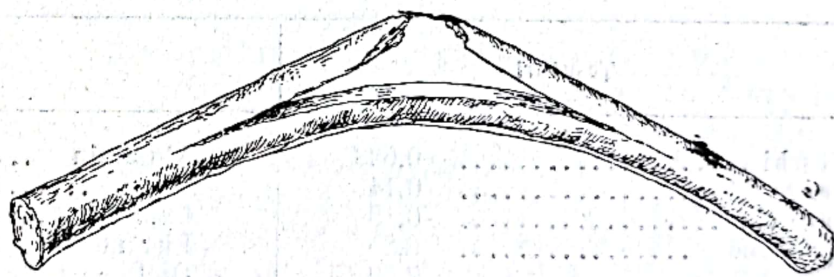


Fig. 65 — Frîngerea unui baston pe genunchi. Schema tracțiunii și compresiunii produse prin apăsarea în A .

direcțiile, miezul neutru care leagă perechile de tălpi nu-și mai are rațiunea de a exista, și deci poate lipsi. În acest caz, corpul capătă formă de tub, în general de secțiune cilindrică.

Experiența arată că un tub de oțel se îndoaie mai greu decât o vergea de oțel de aceeași lungime și greutate, și rezistă mai bine la tracțiune și compresiune. În natură, prin procesul de adaptare la acțiunea forțelor exterioare deformante, tulpinile multor plante, cum sînt de exemplu gramineele, sînt goale, avînd structură de tuburi; în regnul animal, toate oasele lungi au aceeași formă de tuburi, care prezintă rezistența cea mai mare pentru aceeași lungime și cantitate de material. Nervurile penelor din aripile păsărilor sînt de asemenea rezistente și pot bate aerul fiindcă au formă de tuburi goale.

În fig. 65—66 sînt redată cîteva scheme de frîngere (un baston frînt pe genunchi), de fractură (prin flexie și prin tracțiune); săgețile arată tensiunile care apar în aceste cazuri.

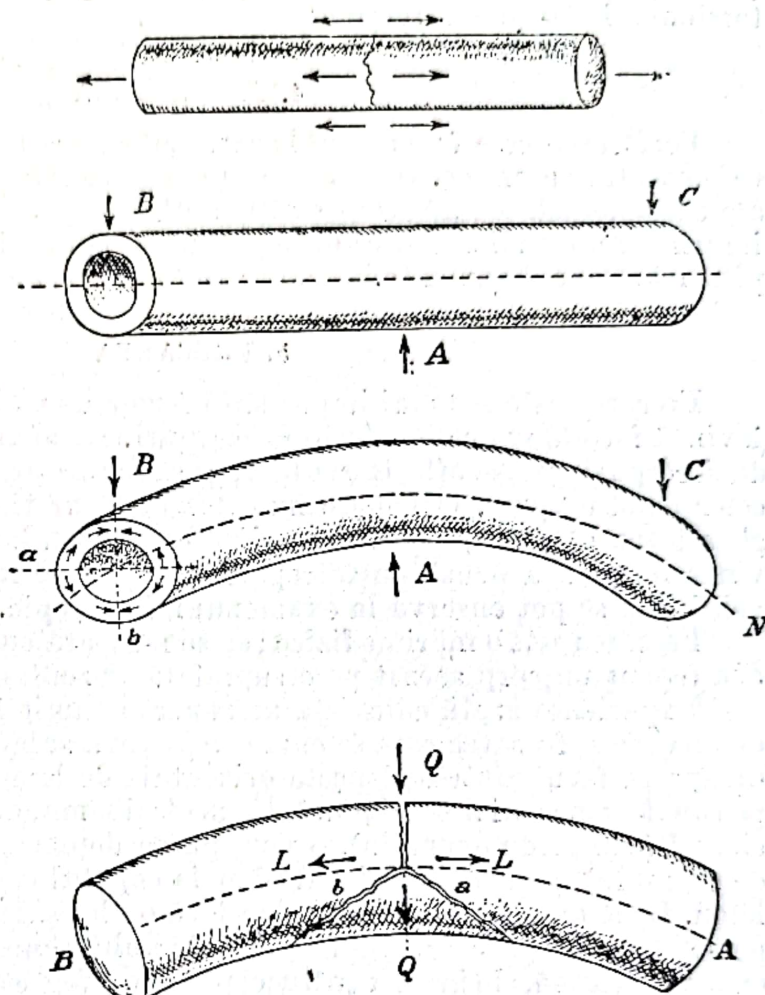


Fig. 66 — Fractură în diferite condiții.

3. RĂSUCIREA (TORSIUNEA)

Dacă fixăm o vergea metalică de formă cilindrică și mai puțin rigidă (de plumb, de exemplu), cu extremitatea inferioară într-o menghină, și trasăm pe ea o generatoare, iar cu ajutorul a două mînere (un cuplu de forțe) dăm o mișcare de rotație extremității superioare, obținem o răsucire a vergelei. Acest fenomen se poate analiza considerînd vergeaua cilindrică făcută din straturi cilindrice elementare suprapuse; aplicînd cuplul FF' stratului superior, acesta se va roti de un unghi anumit; stratul imediat inferior se va roti și el, fiind antrenat prin coeziunea moleculară, însă de un unghi mai mic ș. a. m. d. După cîtva timp de răsucire, generatoarea trasată va lua forma unei spirale.

Rotirea unghiulară a unei secțiuni față de alta vecină, aflată la o distanță convențională, se numește unghi de torsiune.

Privind în secțiune cilindrul răsucit, se observă o deplasare cu atît mai mare cu cît ne îndepărtăm de axa lui; primejdia de rupere este deci mai mare

la periferie. În regiunea axială, materialul poate lipsi, căci acestei regiuni nu i se aplică efortul cuplului, și ea nu contribuie la rezistența vergelei la torsiune. Cilindrul rezistă deci mai bine la torsiune dacă are forma unui tub gol.

Torsiunea este utilizată la aparate de măsurat, în fizică (aparate de torsiune, balanțe de torsiune).

4. FORFECAREA

Forfecarea este fenomenul la care sînt supuse unele materiale și multe din elementele anatomice. Dacă asupra unei piese AB se aplică un cuplu de forțe ale căror puncte de aplicare sînt destul de apropiate între ele, aceste forțe imprimă mai întîi corpului o încovoiere și apoi o forfecare, adică o tăiere a piesei în două fragmente.

5. FRECAREA

Frecarea este cea mai importantă formă de rezistență pe care trebuie să o învingă forțele aplicate diferitelor corpuri. Ea apare în mișcarea reciprocă a două corpuri care se află în contact, și se datorește asperităților suprafețelor celor două corpuri. Oricît de bine lustruită ar fi o suprafață de metal, de gheață sau de lemn, o piesă metalică nu poate aluneca pe ea decît dacă învinge rezistența opusă de întrepătrunderea asperităților, care nu se văd cu ochii, dar se pot observa la examenul microscopic.

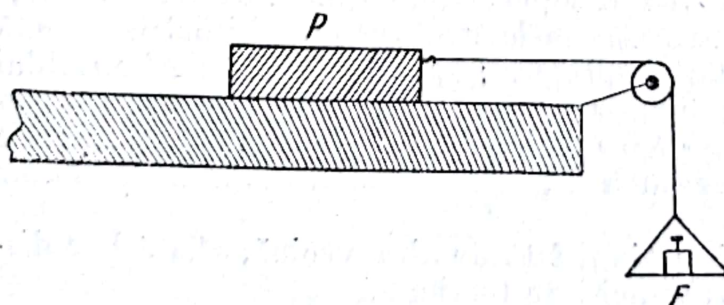
Frecarea este o mărime fizică; ea se măsoară cu forța minimă care scoate din repaus un corp așezat pe o suprafață orizontală.

Experiența arată că există un raport anumit între presiunea exercitată de un corp și frecarea care se opune deplasării sale. Astfel, experimentînd cu un aparat făcut dintr-o planșetă orizontală de lemn de fag lustruit (fig. 67), pe care facem să alunece o placă din același lemn, dacă placa exercită o presiune P (300 g, de exemplu), o vom putea deplasa printr-o greutate F (60 g, de exemplu), așezată în talerul aflat la capătul cablului care trage placa de lemn. Dacă deasupra plăcii așezăm încă o placă, la fel de grea, va fi nevoie, pentru a învinge frecarea, de o greutate dublă în platan (120 g). Continuînd experimentarea, obținem pentru o placă de fag așezată pe o planșetă de fag următorul șir de relații:

$$\frac{F}{P} = \frac{60}{300} = \frac{120}{600} = \frac{240}{1200} = 0,2.$$

Raportul $\frac{F}{P} = k$ este constant și ia numele de *coeficient de frecare*.

Acest coeficient are o valoare anumită pentru fiecare pereche de sub-



stanțe. Dăm cîteva exemple de coeficienți de frecare: fag/fag = 0,20; stejar/stejar = 0,60; fier/fier = 0,16; fier/gheață = 0,03.

Din expresia de mai sus deducem,

$$F = kP, \quad (1)$$

adică forța de frecare, pentru o pereche anumită de

Fig. 67 — Determinarea coeficientului de frecare prin alunecare.

corpuri cu coeficientul de frecare k , depinde numai de presiunea exercitată de un corp asupra celuilalt, iar nu de forma lor. În adevăr, experimentând cu un corp de formă specială (fig. 68), îl putem așeza, fie pe una din baze, fie pe cealaltă, fie pe o suprafață laterală, astfel ca suprafețele în contact să fie diferite; se observă că forța de frecare este aceeași și depinde numai de greutatea corpului.

Toate aceste constatări experimentale sînt cuprinse în legea frecării, descoperită de Coulomb (1736—1806); această lege cuprinde elementele de care depinde forța de frecare, și anume:

a) frecarea F este proporțională cu presiunea P dintre corpurile de contact ($F = kP$);

b) frecarea depinde de natura suprafețelor în contact; pentru două corpuri anumite, ea este un raport constant, care depinde de gradul de netezime a suprafețelor în contact; de aici reiese că, introducînd între două suprafețe în frecare o unsoare, la care viscozitatea constituie o forță de frecare mai mică decît cea dintre corpurile în contact, micșorăm forța de frecare;

c) frecarea nu depinde de mărimea suprafețelor în contact; corpul în frecare se poate așeza în orice poziție, cu condiția ca diferitele lui suprafețe să aibă același grad de netezime;

d) frecarea nu este influențată de viteza corpului, dacă ea nu trece de 15—20 m pe secundă; dacă viteza crește mai mult, frecarea scade;

e) frecarea este mai mare la pornirea corpului, din cauza întrepătrunderii dintre cele două corpuri în contact, provenită din compresibilitatea lor, și care în timpul mersului este mai ușor învinsă cu ajutorul energiei cinetice a corpului în mișcare.

Valoarea coeficientului k se poate determina dacă se consideră alunecarea unui corp pe un plan înclinat, dînd acestui plan o înclinare din ce în ce mai mare, pînă ce corpul începe să alunece numai în virtutea gravitației. Pentru a determina cu ce forță trage gravitația acest corp, o echilibrăm cu o forță F , aflată pe un platan legat de un cablu ca în fig. 69, pînă ce o oprește din cădere. Forța de atracție G a gravitației se descompune în acest caz în două componente: P , care este presiunea corpului normală pe planul înclinat (anulată de rezistența egală și de sens contrar a acestui plan) și F , îndreptată în sensul în care mobilul se poate mișca, adică de-a lungul planului înclinat.

Această forță F este singura care face să alunece corpul în jos, și o putem

obține grafic prin construcția obișnuită a paralelogramului forțelor, intrucît cunoaștem rezultanta și cele două direcții ale forțelor componente. Această forță F o echilibrăm cu greutatea pe care o punem în platan.

În triunghiul dreptunghi GOP , cateta GP (egală cu vectorul forței F) are valoarea

$$GP = F = P \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

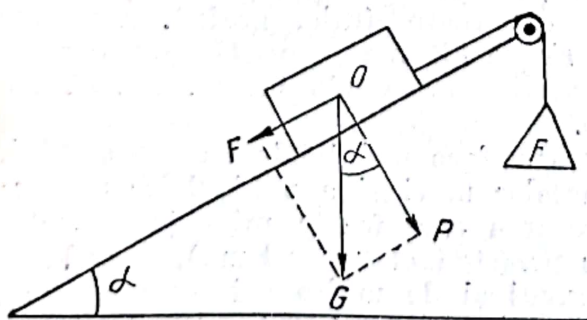


Fig. 69 — Coeficientul de frecare are în orice moment valoarea $\operatorname{tg} \alpha$.

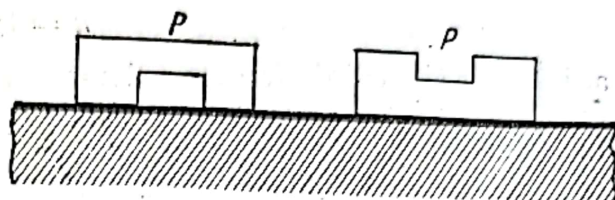


Fig. 68 — Frecarea depinde de greutatea corpului, nu de mărimea suprafeței de contact.

Pe de altă parte, am văzut în relația (1) că F are valoarea următoare:

$$F = kP.$$

Din compararea celor două relații de mai sus (1) și (2):

$$F = \operatorname{tg} \alpha \cdot P;$$

$$F = k \cdot P,$$

rezultă că:

$$k = \operatorname{tg} \alpha,$$

adică coeficientul de frecare a două corpuri anumite are valoarea tangentei unghiului α făcut cu orizontala de planul înclinat în momentul când corpul începe să lunece pe acest plan.

Dacă, în loc de a încerca să învingem frecarea printr-o mișcare de translație, dăm corpului care trebuie să se deplaseze forma unui cilindru, disc, con, sferă sau alte forme în care predomină elementul curb, obținem o micșorare a rezistenței de frecare, fiindcă în fiecare moment asperitățile sînt învinse și prin energia cinetică a corpului în rostogolire. Considerînd o sferă foarte dură și lucioasă, contactul acesteia cu un plan orizontal dur și lucios ar trebui să se facă, teoretic, printr-un singur punct, și deci frecarea să fie practic nulă. Cu toate acestea, imperfecțiunile tehnice și faptul că presiunea sferei pe plan produce o deformare elastică, chiar neobservabilă pentru ochiul liber, cer ca să nu se poată pune în mișcare sfera decît cu ajutorul unei forțe care să învingă rezistența de frecare.

Frecarea de rostogolire este însă mult mai mică decît cea de alunecare. Astfel, o sferă de stejar lucios, rostogolindu-se pe o planșetă din același material, de asemenea lucios, are o frecare de 300 de ori mai mică ($k = 0,002$) decît în cazul alunecării.

Aplicarea acestui principiu al micșorării rezistenței de frecare prin rostogolire începe de la prima roată pe care și-a făcut-o omul, după ce a constatat prin experiență că rostogolirea unui trunchi cilindric de copac se poate face mai cu înlesnire decît tîrîrea acestui trunchi pe pămînt.

Principiul frecării mici de rostogolire este folosit în dispozitivele moderne care trebuie să se rotească cu o frecare minimă pentru a nu micșora viteza, a nu se încălzi din cauza frecării și a evita distrugerile, uzajul, prin frecare.

Rulmenții întrebuițați la diferitele aparate și mașini rotative sînt făcuți din sfere, cilindri, conuri, trunchiuri de con etc., care prin rostogolirea lor înlesnesc mișcarea a două piese între care sînt cuprinși (fig. 70).

Coeficientul de frecare se micșorează mult (chiar de cinci ori) dacă între suprafețele în contact se introduc substanțe unsuroase, lichide sau consistente, cum și pulberi unsuroase (talc, grafit). Unsoarea trebuie să fie cît mai consistentă, pentru ca presiunea dintre corpurile în contact să nu o elimine.

Frecarea face posibilă deplasarea omului, a animalelor mari și a vehiculelor pe sol; dacă frecarea este foarte mică (pe gheață, polei, suprafețe lucioase de lemn), mersul este foarte greoi și de multe ori nu ne putem menține nici echilibrul, autovehiculele patinează pe loc etc.

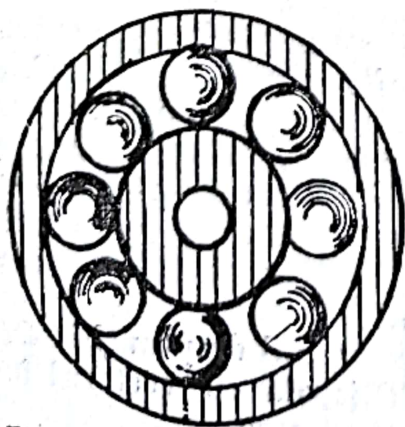


Fig. 70 — Rulmenți cu bile (frecarea prin rostogolire).

În tehnică se interpune de multe ori o pulbere aspră pentru a introduce artificial o frecare între curelele de transmisie și roțile de oțel lucios (volan, șaibă), care trebuie puse în mișcare circulară; în transporturi se toarnă iarna nisip pe șinele de tramvai sau tren pentru a evita patinarea, care face imposibilă deplasarea vehiculului din cauza lipsei rezistenței de frecare.

Rolul pe care îl are unsoarea în micșorarea frecării în tehnică, la ungerea osiilor, articulațiilor părților mobile ale mașinilor etc. îl îndeplinește în organismul animal *lichidul sinovial* din articulație; conținând o cantitate mare de mucină, lichidul sinovial are o consistență viscoasă și micșorează frecarea cartilajelor produsă de mișcarea oaselor. Datorită acestui lichid, organismul economisește efort, fiindcă nu trebuie învinsă o forță de frecare mare și, în același timp, se evită leziuni datorite frecării elementelor anatomice solide, în contact.

O. ELASTICITATEA ELEMENTELOR ANATOMICE

1. REZISTENȚA OASELOR

Oasele lungi funcționează ca pîrghii de diferite genuri. Forma de tub le dă în direcția diametrală o rezistență maximă pentru un minimum de substanță, așa cum am demonstrat mai înainte, iar sistemul arhitectonic al substanței compacte (osteonul) din care este formată diafiza îi asigură rezistența la presiune în direcția axială.

Osteonul este alcătuit din elemente numite canalele lui Havers, care au forma unor tuburi coaxiale, fiecare avînd rezistența, în direcția diametrului, destul de mare. Pereții acestor canale au în structura lor fibre conjunctive oblice, cu oblicitatea îndreptată în direcții opuse la doi cilindri coaxiali vecini. Din cauza acestei structuri nu se poate face dilatarea transversală și se mărește rezistența la presiune în direcția lungimii (fig. 71).

Structura arhitectonică a substanței spongioase care se găsește în epifiză și în oasele late este foarte interesantă. O serie de lamele osoase, numite trabecule, sînt așezate ca traversele care susțin acoperișul hangarelor, cupolelor, sau ca textura metalică a marilor poduri de cale ferată. Aceste lamele fac între ele unghiurile cerute de legile rezistenței materialelor și dau osului rezistența maximă.

Prin modul de așezare a trabeculelor osoase se realizează un maximum de rezistență în punctul unde se exercită o presiune mai puternică. La extremitatea oaselor lungi, trabeculele osoase au forma unor ogive cu concavitatea spre mijlocul osului. În astragal, calcaneu, femur, unde se exercită presiunea cea mai mare a corpului, se află cîte 2—3 șiruri de trabecule osoase, care se încrucișează sub punctul de presiune maximă. Această structură conferă un maximum de rezistență și de elasticitate oaselor respective. În fig. 72 este redată structura epifizei proximale a femurului, iar fig. 73 redă schematic capul femurului; lamelele osoase se află în direcția liniilor de tracțiune și compresiune, adică în direcția tracțiunii mușchiului și a presiunii sarcinii.

Osul se poate deforma sub influența unor forțe exterioare, dar își reia forma inițială de îndată ce acțiunea acestei forțe exterioare încetează. Aceste deformații au valori mici, fiindcă osul este rigid, și am arătat că un corp este cu atît mai expus la rupere, sub influența unui șoc, cu cît este mai puțin deformabil.

La copii, cînd osul nu este încă destul de rigid, deformațiile pot fi considerabile și pot întrece limita de elasticitate; fracturile nu detașează fragmentele

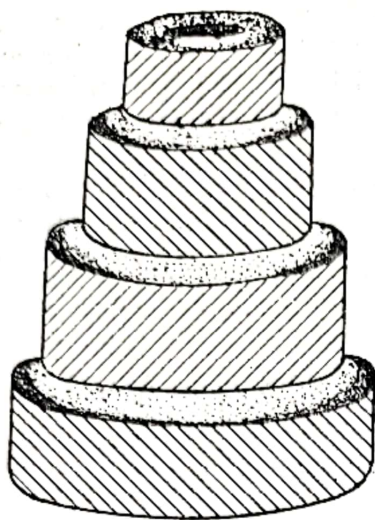


Fig. 71 — Structura canalelor lui Havers. (schemă)

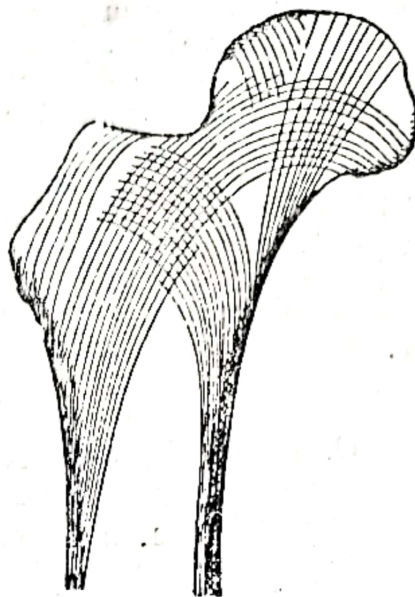


Fig. 72 — Structura epifizei proximale a femurului (schemă).

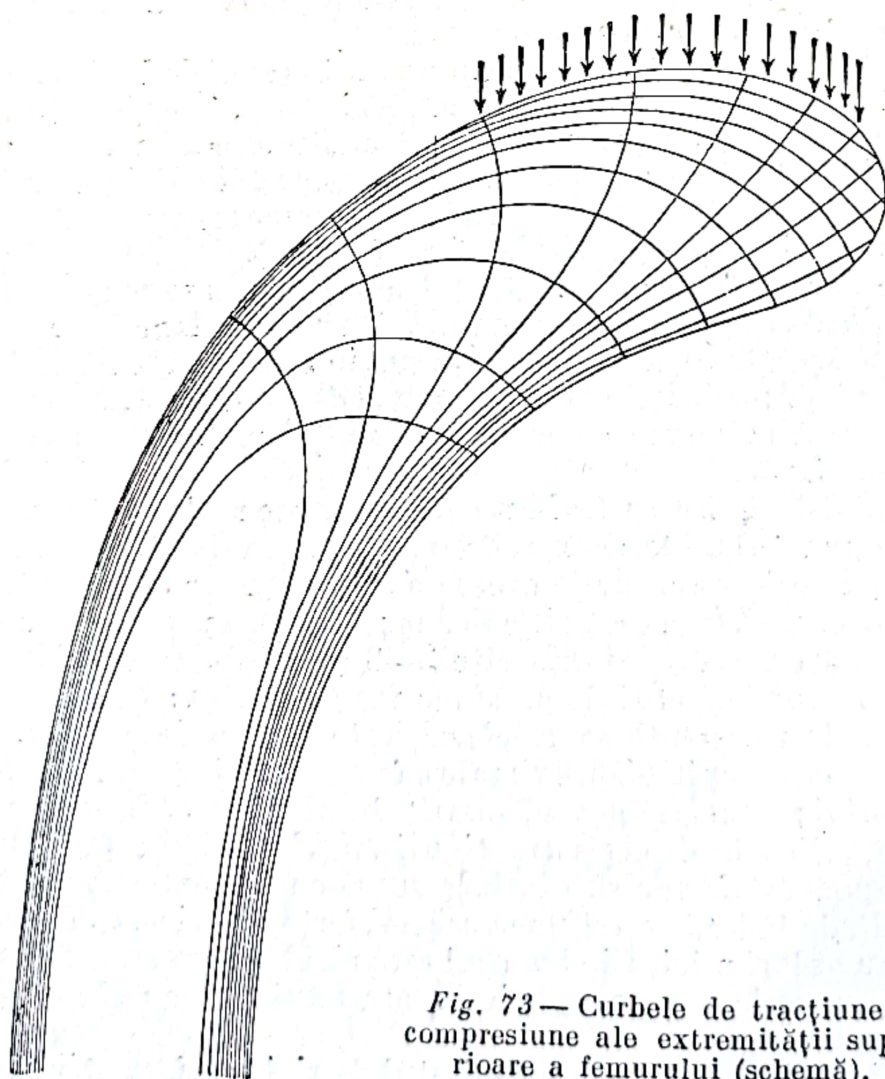


Fig. 73 — Curbele de tracțiune și compresie ale extremității superioare a femurului (schemă).

fracturate, ci numai îndoie osul, așa cum se îndoie răchita verde fără a se frînge. De aceea, asemenea fracturi sînt numite de multe ori „fractură de lemn verde“.

Diferenții autori care au studiat mecanica scheletului au dat cifre destul de asemănătoare pentru modulul de elasticitate al oaselor, care este, în general, de două ori mai mare decît cel al lemnului de brad, la tracțiune în direcția fibrelor.

La temperatura corpului omenesc, modulul de elasticitate pentru osul proaspăt scos din corp variază între 18,19 și 27,19 kg/mm² (Wertheim) sau între 18,71 și 25,60 kg/mm² (Raubert).

Problema ruperii osului a interesat și interesează foarte mult pe cercetători. Experiența arată o micșorare sensibilă a rezistenței oaselor la ruptură prin tracțiune, cu înaintarea în vîrstă. Astfel, diafiza oaselor, la temperatura de 37°, are o rezistență la ruptură prin tracțiune:

La adulți.....	9,25 — 12,41 kg/mm ²
La bătrîni	6,37 — 7,75 „

Deosebirea pare a nu fi atît de sensibilă cu vîrsta la compresiune. Rezistența la compresiune pentru oase, în condițiile amintite, variază între 12,56 și 16,8 kg/mm², fără a se resimți prea mult influența vîrstei (Raubert).

La țesutul spongios, rezultatele variază mult cu forma cavităților și direcția forțelor aplicate acestor regiuni; cifrele obținute de Raubert pentru vertebre și capul femurului sînt de 0,84—8,96 kg/mm².

Cercetările au arătat că țesutul compact al osului rezistă la ruptură prin tracțiune la fel ca lemnul de brad supus tracțiunii în sensul lungimii fibrelor, dar el este de două ori mai rezistent la compresiune.

La compresiune are importanță și lungimea fragmentului de os studiat. Astfel, un cub cu latura de 3 mm, tăiat din substanța compactă a femurului, a fost zdrobit sub o compresiune de 150 kg, în timp ce o prismă cu aceeași secțiune de bază, dar avînd înălțimea de 45 mm, s-a zdrobit la o compresiune de 108 kg în direcția înălțimii.

Așa cum am arătat la studiul general al elasticității, corpurile de formă alungită sînt rupte mai ușor din cauza fenomenului de încovoier (flambaj). De aceea, în studiul rezistenței oaselor la ruptură prin compresiune se lucrează cu piese care au lungimea sau înălțimea de cel mult trei ori mai mare decît latura bazei. Pentru încercările de laborator se folosesc aparate similare celor utilizate în tehnică în încercările de rezistență a materialelor.

Toate aceste determinări permit cunoașterea amănunțită a calităților de elasticitate și rezistență la tracțiune și compresiune a țesutului osos.

Pentru un os întreg din corpul omenesc (femurul, de exemplu), calculele sînt foarte greoaie, deoarece nici forma și nici structura nu sînt omogene. De aceea, cercetătorii au făcut determinări experimentale și în această direcție.

Dintre rezultatele obținute în acest domeniu menționăm pe cele ale lui Meserer, care, servindu-se de mașinile industriale cu care se determină rezistența materialelor, a experimentat asupra oaselor unui om decedat după o boală scurtă ce nu a afectat oasele; a evitat de asemenea uscarea lor, lucrînd la o temperatură de 20—25°.

Craniul, la compresiune, prezintă o micșorare a diametrului comprimat și în același timp o mărire a celorlalte diametre; se produce apoi fractura bazei craniului dacă se comprimă cu 520 kg după diametrul antero-posterior sau cu 620 kg transversal. Dacă se comprimă în sens vertical cu 270 kg, baza craniului se infundă în urma fracturării unuia sau a celor doi condili.

Mandibula în comprimare laterală, se rupe lângă bărbie la o presiune de 60 kg, după ce are loc o apropiere a celor două ramuri cu 10 mm lângă condili. Dacă presiunea se face dinainte înapoi asupra bărbiei, cele două părți ale mandibulei se depărtează cu 13 mm, apoi are loc ruptura, care se face în vecinătatea condililor la o presiune de 190 kg.

Vertebrele au rezistența crescândă de sus în jos, și variază de la un om la altul, luând valori de 22—93 kg/mm²; se micșorează cu vârsta.

Coastele sînt foarte deformabile. În unele cazuri s-a reușit a se aduce prin compresiune sternul pînă la coloana vertebrală fără a-l fractura.

La bazin, o compresiune de 250 kg în direcția antero-posterioară produce o ruptură a celor două oase pubiene. Comprimarea laterală asupra celor două creste iliace cu 180 kg deschide simfiza sacro-iliacă. Comprimarea transversală de 290 kg provoacă o ruptură verticală a părților anterioare și a sacrului.

Oasele lungi nu se rup decît la eforturi mult mai mari.

Tabelul 8 cuprinde cîteva cifre privind ruptura la tracțiune și la compresiune.

Tabelul 8

Osul	Ruptură la tracțiune	Ruptură la compresiune
Humerus de femeie	800 kg	600 kg
Femur de femeie	1 550 kg	—
Femur de bărbat	2 300 kg (Rainer)	—
Diafiză femorală de femeie	—	750 kg

Așezînd un os pe două suporturi astfel ca acestea să determine trei segmente egale, și exercitînd o compresiune la mijloc, ruptura se produce pentru forțele următoare:

Humerus 174 — 276 kg
Femur 263 — 400 „

Modul de așezare influențează de asemenea rezistența la ruptură; astfel, o tibie așezată cu creasta în sus rezistă la o compresiune de 326 kg, iar alta identică, comprimată lateral, se rupe la 226 kg. Aceste rupturi se prelungesc uneori prin fisuri în corpul osului pînă la epifiză. Un os lung culcat pe un plan rezistent suportă o presiune considerabilă înainte de a fi zdrobit.

În cazul torsiunii se produce o fractură în spirală, care urmează sensul torsiunii, însă are pasul mai alungit. Folosind un mîner de 16 cm pentru torsiune, se obține fractura cu forțele următoare: humerus 40 kg, radius 12 kg, cubitus 8 kg, femur 89 kg, tibie 48 kg, peroneu 6 kg.

Aplicînd la structura oaselor cele expuse la capitolul general de rezistență, constatăm că oasele lungi, fiind tubulare, rezistă mai bine decît dacă ar fi fost pline și construite din aceeași cantitate de țesut osos. La oasele lungi, flexia constituie o primejdie mai mare la ruptură decît la celelalte, așa cum am arătat.

Studiul mecanicii organogenezei, cercetarea cîmpului de forțe mecanice în care au loc geneza țesutului elastic și transformările lui ulterioare, a structurii funcționale a periostului, a pericardului, a ligamentelor galbene vertebrale, studiile de mecanostructură legate de factorii cauzali și formulate

matematic — , toate acestea au contribuit, în țara noastră, la punerea bazelor morfologiei științifice, reprezentată de școala morfologică a lui Francisc Rainer (1874—1944) și a elevilor și colaboratorilor lui (Șt. M. Milcu, Z. Iagnov, I. Th. Riga, B. Menkes, E. Floru ș.a.).

2. FRECAREA ÎN ORGANISMUL ANIMAL

Două oase care se articulează sînt în contact pe o suprafață de oarecare întindere, iar în caz de mișcare, una din suprafețe alunecă peste cealaltă sau se rotește în contact cu ea.

Dacă un os se termină cu o porțiune de sferă convexă (cap articular), celălalt os are o formă sferică concavă de aceeași rază (cavitatea articulară). Capul articular se poate mișca în jurul centrului sferei în diferite direcții, în anumite limite.

Articulațiile cilindrice permit rotirea unui os față de celălalt ca și cum ar fi fixat de o axă rigidă. Mișcarea poate fi de rotație, de alunecare în sens paralel cu axul cilindrului, ori helicoidală.

Datorită elasticității cartilajelor care acoperă părțile în contact, două suprafețe se pot articula între ele în mod satisfăcător chiar dacă nu sînt perfect plane, cilindrice sau sferice. Astfel, cilindrul poate avea secțiunea, fie circulară, fie ovală, iar în loc de sferă să avem un elipsoid. În sistemul osos se găsesc și articulații în formă de șa de călărie, la care curburile sînt de sens contrar, în două direcții perpendiculare între ele.

III. MECANICA CORPULUI LICHID

Starea lichidă. Lichidele sînt corpuri fluide ale căror molecule pot aluneca ușor unele față de altele și care se caracterizează printr-o suprafață liberă. Un lichid al cărui volum nu poate fi modificat prin compresie (absolut incompresibil) și ale cărui straturi alunecă între ele fără frecare între ele (fără vîscozitate) se numește lichid perfect sau lichid ideal. În realitate, lichidele sînt compresibile (în măsură foarte mică) și mișcarea straturilor se face cu frecare, adică lichidele au o anumită vîscozitate. Lichidele iau forma vasului în care se află, din cauză că moleculele sînt mai distanțate și deci coeziunea intermoleculară este mai mică.

A. HIDROSTATICA

1. SUPRAFAȚA LIBERĂ A UNUI LICHID

Coeziunea moleculară mică a lichidelor și frecarea foarte mică fac ca ele să ia cu ușurință forma vasului sau a depresiunii orografice în care se află. Ele prezintă o suprafață liberă. Cînd lichidul este în echilibru și suprafața lui liberă este de dimensiuni relativ mici, ea este plană și orizontală.

În aceste condiții, dacă la un moment dat suprafața nu este orizontală, ceea ce se poate observa mai bine la lichide de vîscozitate mare (miere, ulei de uns etc.), ea devine după puțin timp plană și orizontală. Aceasta se datorește faptului că fiecare moleculă M (fig. 74) de pe porțiunea oblică a suprafeței este atrasă de gravitație cu forța P ; din această forță nu poate însă acționa decît una din cele două componente P_t și P_n ; componenta P_n fiind normală la suprafața lichidului în locul considerat, este

anulată de rezistența acestui lichid care este incompresibil, așa că rămâne numai componenta tangențială P_t care își exercită acțiunea asupra moleculei în direcția planului oblic, adică tangent la suprafața lichidului în acel loc. Molecula se deplasează, iar forța tangențială P_t se anulează cînd unghiul de înclinare a suprafeței față de orizontală devine 0, adică atunci cînd suprafața devine orizontală. Deci, moleculele se rostogolesc pînă cînd suprafața devine orizontală.

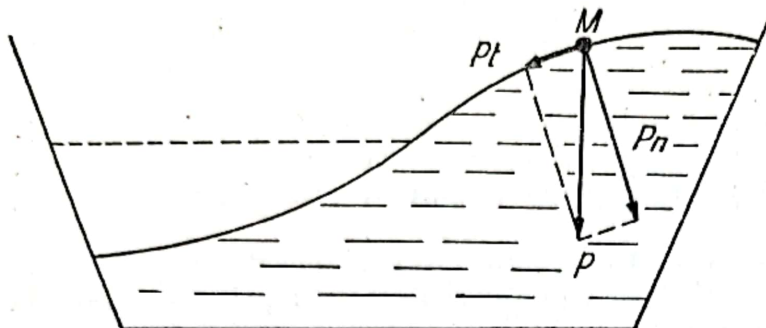


Fig. 74 — Suprafața liberă a lichidului.

2. PRESIUNEA HIDROSTATICĂ

Experiența arată că în orice punct dintr-un lichid există o presiune datorită greutateii straturilor de deasupra aceluia punct. Această presiune este deci cu atît mai mare

cu cît punctul considerat se află mai adînc în lichid. Presiunea exercitată pe unitatea de suprafață se numește presiune hidrostatică.

La același nivel, presiunea hidrostatică în același lichid este aceeași.

O demonstrație similară cu cea care ne-a arătat de ce forma suprafeței libere a lichidului perfect trebuie să fie plană și orizontală ne arată că un lichid în echilibru apasă totdeauna perpendicular pe orice suprafață din interiorul lui.

Valoarea presiunii hidrostatice p pe care un lichid o exercită asupra unei suprafețe de 1 cm^2 din interiorul lichidului, oricare ar fi orientarea ei, este egală cu greutatea unui cilindru din acel lichid, cu baza de 1 cm^2 , înălțimea h pînă la suprafața lichidului și densitatea d :

$$p = h \cdot d \cdot g.$$

unde g este accelerația gravitației în locul considerat.

Pentru o suprafață S , vom avea deci o presiune hidrostatică P , cu valoarea următoare:

$$P = S \cdot h \cdot d \cdot g.$$

Experiența arată că presiunea exercitată de un lichid pe fundul vasului în care se află are valoarea presiunii unui cilindru drept; deci, depinde numai de suprafața fundului S și de înălțimea lichidului h , oricare ar fi forma vasului și cantitatea de lichid din vas.

3. PRINCIPIUL LUI PASCAL

Principiul hidrostatic, descoperit și formulat de matematicianul, fizicianul și filozoful Pascal (1623 — 1662), tratează despre presiunile ce se exercită dinafară asupra feței libere a unui lichid sau asupra unei suprafețe anumite din acel lichid.

Din experiență se știe că, atunci cînd asupra unui lichid în echilibru se exercită într-o regiune oarecare o presiune, aceasta se transmite integral cu aceeași intensitate, pe orice suprafață în contact cu lichidul; intensitatea forței de presiune este direct proporțională cu suprafețele asupra cărora acționează presiunile.

Aplicațiile principiului lui Pascal sînt numeroase și le vom întîlni în diferitele capitole ale hidrostaticii și hidrodinamicii. Din ele vom examina aici pe scurt presa hidraulică și vasele comunicante.

a) **Presa hidraulică** constă, în principiu, din două vase comunicante, unul de secțiune foarte mare față de celălalt. Exercițind o presiune p pe o suprafață mică s , obținem o presiune P pe o suprafață S , astfel încît există proporția:

$$\frac{P}{p} = \frac{S}{s}.$$

Și aici este respectată legea conservării lucrului mecanic, fiindcă în tubul cu secțiune mică pistonul trebuie să coboare mai mult, deplasînd masa de lichid, decît se urcă în tubul cu secțiune mare. Raportul dintre deplasările celor două pistoane este invers față de raportul presiunilor.

$$\frac{P}{p} = \frac{D}{d},$$

de unde:

$$Pd = pD,$$

expresie care reprezintă tocmai egalitatea lucrului mecanic în cele două ramuri ale presei hidraulice.

Construind convenabil presa hidraulică, se pot obține presiuni foarte mari, de sute de kg pe cm^2 , folosite în industria metalurgică, în industria alimentară pentru scoaterea uleiului din semințele oleaginoase, în transporturi, ca frînă hidraulică pentru oprirea vehiculelor grele cu o simplă apăsare cu piciorul pe o pedală care corespunde pistonului ramurii mici etc.

b) **Vase comunicante.** Dacă exercităm asupra unui lichid dintr-un tub orizontal o presiune cu ajutorul unei coloane de lichid aflată într-o ramură verticală, această presiune se răspîndește cu intensitate egală în lungul tubului orizontal; dacă vom avea pe acest tub sudate cîteva alte tuburi verticale, presiunea va face ca lichidul să se urce în toate aceste tuburi la aceeași înălțime, potrivit principiului lui Pascal.

Această aplicație a principiului lui Pascal este cunoscută sub numele de principiul vaselor comunicante, principiu care se enunță astfel: un lichid aflat în vase comunicante, oricare ar fi forma lor, are suprafețele libere în același plan orizontal.

Această însușire este folosită de mult la stabilirea liniilor și planurilor orizontale, pentru nivelări, pentru construcții etc. Privind de-a lungul celor două fețe orizontale aflate pe același plan ale unor vase comunicante, raza vizuală determinată de aceste două puncte este orizontală și, căzînd pe o miră, stabilește un al treilea punct, aflat în același plan orizontal. Principiul este aplicat la nivela pentru zidărie și pentru nivelarea terenului.

În laborator este folosit principiul vaselor comunicante la diferitele aparate de analiza gazelor etc; de asemenea în alimentarea cu apă a clădirilor comune ale marilor gospodării agricole colective și de stat, a stațiilor de cale ferată, în uzinele hidroelectrice, se acumulează, prin pompare sau prin diferențe de nivel (de la un rîu de munte) într-un rezervor, turn de apă, castel de apă etc., o cantitate de apă aflată la o anumită înălțime. De acolo ea poate fi distribuită prin cădere liberă, printr-o rețea de vase comunicante, și ajunge prin aceste conducte pînă la o înălțime care se apropie de nivelul apei din rezervor. În practică, din cauza frecărilor

lichidului de pereții tuburilor din rețeaua de distribuție se pierde o parte din presiune și se atinge un nivel hidrostatic ceva mai mic.

O abatere aparentă de la principiul lui Pascal se observă în cazul a două lichide nemiscibile și de densitate diferită, care nu se urcă la același nivel în vase comunicante; această abatere va fi examinată la studiul densităților. O altă abatere aparentă se întâlnește la vase comunicante din care unul este capilar, adică are diametrul mai mic de 2 mm; acest caz va fi tratat la studiul capilarității.

4. PRINCIPIUL LUI ARHIMEDE

Folosit din cele mai vechi timpuri, din vremea când omul și-a făcut din copacii doborâți de furtună primele plute, principiul a fost descoperit în forma sa științifică de Arhimede (287 — 212 î. e. n.).

Principiul lui Arhimede se enunță astfel: un corp cufundat într-un lichid este împins de jos în sus cu o forță egală cu greutatea volumului de lichid pe care corpul îl dislocuiește.

Forța cu care lichidul apasă de jos în sus este aplicată într-un punct al corpului numit centru de presiune, care coincide cu centrul de greutate al masei de lichid dislocuită de corp.

Plutirea corpurilor. În cazul unui corp introdus într-un lichid, avem următoarele trei relații între greutatea P a corpului, aplicată în centrul de greutate, și presiunea p de jos în sus a lichidului, aplicată în centrul de presiune.

Corpul plutește la suprafața lichidului: În acest caz, greutatea corpului este egală cu greutatea lichidului dislocuit, dar volumul de lichid dislocuit este mai mic decât volumul corpului care plutește.

$$P = p \text{ și } V_L < V_C.$$

Dacă un corp plutește pe apă și căutăm prin apăsare să-l introducem în apă, volumul de apă dislocuit capătă o presiune mai mare decât greutatea corpului; cum luăm mâna de pe acest corp, diferența de presiune $p - P$, numită *forță ascensională*, împinge corpul în sus, aducându-l din nou în poziția inițială de plutire, când el dislocuiește un volum de apă mai mic decât volumul său.

În cazul navelor, cantitatea de apă deplasată de partea de navă aflată în apă arată direct greutatea întregii nave, cu încărcătura ei; un vapor care deplasează 5 000 tone de apă cântărește în întregime, cu încărcătură cu tot, 5 000 de tone.

Echilibrul în plutire este mai stabil dacă centrul de greutate se află sub centrul de presiune. De aceea, vapoarele se încarcă introducându-se în fundul calelor obiectele cele mai grele; totuși, bărcile, lotcile, au centrul de greutate deasupra celui de presiune; prin înclinare, forma volumului de apă dislocuit se lățește, centrul de presiune se deplasează de pe verticala centrului de greutate și rezultă astfel un cuplu de forțe P și p , care readuc barca la poziția ei de plutire inițială.

Corpul plutește în interiorul lichidului: În acest caz, greutatea corpului este egală cu greutatea lichidului dislocuit, și volumul de lichid dislocuit este egal cu volumul exterior al vasului.

$$P = p \text{ și } V_L = V_C.$$

În cazul submarinelor, care plutesc în apă, cele două forțe își fac echilibru; coborârile se fac măbind pe P prin deschiderea vanelor tancurilor de

balast pentru ca să intre apă, iar ascensiunea se face măbind pe p prin pomparea apoi dintre pereții vasului.

Corpul nu plutește: În acest caz, $P > p$ și $V_L = V_C$. La o piatră ori o bucată de fier introdusă în apă, sau la un vas în care a intrat apă, greutatea P este mai mare decât greutatea volumului de lichid dislocuit adică decât presiunea p a lichidului de jos în sus. Rezultanta $P - p$ a celor două forțe este deci îndreptată în jos, și corpul cade la fundul lichidului, executând o mișcare accelerată. Accelerația căpătată în lichid este însă mai mică decât în aer, căci forța $P - p$ este mai mică decât greutatea P . Vom vedea la studiul vîscozității că, în lichidele vîscoase intervenind și forțele de frecare, această accelerație se anulează în mod practic, și corpul cade într-un lichid vîscos cu o mișcare practic uniformă.

Din cauza diferenței $P - p$, principiul lui Arhimede se enunță și sub forma următoare: un corp cufundat într-un lichid „pierde” din greutatea sa o parte egală cu greutatea volumului de lichid dislocuit, pierdere de greutate care este, evident, numai aparentă.

Principiul lui Arhimede, pe lângă aplicații foarte importante în tehnică și în transporturi, este aplicat în cercetările de laborator, în studiul biologiei și al medicinei. Astfel, densimetrele folosite în laboratorul de analize și de cercetări sînt construite pe principiul corpurilor plutitoare.

Un capitol important din mecanica fluidelor, și care se studiază în legătură cu principiul lui Arhimede din cauză că primele determinări s-au făcut cu ajutorul balanței hidrostatice (balanța lui Arhimede), este cel privitor la determinarea greutăților specifice ale substanțelor; capitolul este intitulat „Densimetrie”.

5. DENSIMETRIE

Densimetria cuprinde metodele și procedeele de determinare a greutății specifice a diferitelor corpuri.

a) **Densitatea absolută**, sau masa specifică a unui corp, se numește masa unității de volum. Această mărime fizică reprezintă raportul dintre masa M a corpului dat și volumul său V . Densitatea absolută are deci ca expresie:

$$D_a = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Deoarece determinarea masei M se face prin cîntărirea corpului, raportul nu mai reprezintă masa specifică, ci **greutatea specifică**.

b) **Greutatea specifică** a unei substanțe reprezintă greutatea în grame a unui cm^3 din substanța respectivă.

c) **Densitatea relativă** este folosită în mod curent pentru caracterizarea unei substanțe din acest punct de vedere. Densitatea relativă a corpului A reprezintă raportul dintre densitatea absolută a corpului A și densitatea absolută a unui alt corp B , luat ca termen de comparație. Pentru corpul A , densitatea absolută am văzut că este exprimată prin relația:

$$D_a = \frac{M}{V},$$

iar pentru corpul B , densitatea absolută este:

$$D'_a = \frac{M'}{V}$$

Densitatea relativă D_r a corpului A fiind raportul dintre cele două densități absolute D_a și D'_a , vom avea:

$$D_r = \frac{D_a}{D'_a} = \frac{M}{M'}, \quad (2)$$

adică densitatea relativă a unui corp este egală cu raportul dintre masa lui și masa aceluiași volum din corpul de referință.

Pentru corpurile solide și lichide se ia drept corp de referință *apa*, iar pentru gaze și vapori se ia *aerul*.

Pentru determinarea densității relative sau, prescurtat, a *densității* unei substanțe, în locul raportului maselor unor volume egale ale substanțelor se folosesc greutatețile acestor volume, care, în același loc de pe Pământ, sînt proporționale cu masele în baza celei de-a doua legi a dinamicii, aplicată la forța de atracție a Pământului.

$$P = M \cdot g \quad \text{și} \quad P' = M' \cdot g,$$

de unde

$$\frac{P}{P'} = \frac{M}{M'},$$

așa că putem scrie

$$D = \frac{P}{P'}. \quad (3)$$

De aceea, practic, se numește densitatea unui corp solid sau lichid, la o temperatură dată, raportul dintre greutatea P a corpului la acea temperatură și greutatea P' a unui volum egal de apă distilată la temperatura de $+4,2^\circ$.

Cum însă greutatea P' a volumului de apă distilată aflată la o temperatură de $+4,2^\circ$ este exprimată prin același număr ca și volumul ei în ml (cm^3), vom avea valoarea densității exprimată prin relația

$$D = \frac{P}{V}. \quad (4)$$

În general, se determină greutatea P' (a unui volum de apă egal cu volumul corpului) la temperatura de lucru t și nu la $+4,2^\circ$, unde apa are densitatea 1. Deci, la orice temperatură t , diferită de $+4,2^\circ$, densitatea apei are o valoare diferită de 1, valoare care a fost determinată prin numeroase cercetări și se află cuprinsă în tabelele de constante fizice pentru fiecare temperatură a apei. Expresia (3) a densității relative a unui corp va deveni deci

$$D = \frac{P}{P'} \cdot d,$$

unde d este densitatea apei la temperatura de lucru t .

d) Metodele densimetrice pot fi clasificate astfel:

- Metode bazate pe aplicarea principiului lui Arhimede.
- Metode bazate pe folosirea balanței pentru a determina pe P și P' .
- Metode care aplică condițiile de echilibru ale lichidelor în vase comunicante.

Metode bazate pe principiul lui Arhimede. Pentru determinarea calitativă a densității se poate aplica o metodă directă. În acest scop se introduce corpul în apă, observîndu-se în ce mod sînt satisfăcute condițiile de echilibru

ale plutirii. Aceasta se poate face numai pentru acele corpuri care nu sînt solubile în apă. Astfel, la parafina solidă, uleiul de parafină, uleiul vegetal, derivatele de petrol etc. se recunoaște că densitatea e mai mică decît 1, fiindcă ele plutesc pe apă, pe cînd pentru sulf, cloroform, aluminiu, sticlă, mercur, plumb etc. se recunoaște că densitatea este mai mare decît 1 fiindcă ele cad pe fundul vasului.

O operație analogă este folosită în medicina judiciară pentru a se stabili dacă un copil a fost născut mort sau a fost asfixiat după naștere. În principiu, urmează a se stabili dacă copilul a respirat sau nu a respirat. Dacă respirația nu s-a instalat înaintea morții, plămînul formează un țesut compact, mai greu decît apa, așa că, introdus într-un vas cu apă, cade la fund; dacă însă copilul a respirat, prezența aerului în veziculele pulmonare face ca plămînul să fie mai ușor decît apa și să plutească.

Metoda picăturilor este o metodă directă care se aplică la determinări cantitative ale densității unor corpuri lichide, îndeosebi cînd dispunem pentru determinare de cantități mici de substanțe pentru operațiile respective.

Pentru aplicarea metodei picăturilor, se prepară o serie de soluții etalon, ale căror densități diferite, foarte apropiate între ele, se determină cu precizie prin metoda balanței hidrostatice, pe care o vom descrie mai departe; aceste lichide se păstrează în flacoane închise, la adăpost de lumină, pulberi etc., pentru a rămîne cît mai mult timp nealterate. Se introduce o picătură din lichidul de cercetat într-o cantitate mică din una din soluțiile etalon scoase din flacon, într-un pahar cilindric sau conic. Dacă picătura cade la fund, ea este mai densă decît lichidul etalon și atunci încercăm pe rînd cu alte picături, în alte soluții de densitate crescîndă, pînă ce obținem ca o picătură din lichidul de analizat să plutească în interiorul lichidului de densitate cunoscută. Astfel vom ști că densitatea lichidului de analizat este egală cu densitatea cunoscută a lichidului din flaconul respectiv.

Metoda poate servi pentru determinarea lesnicioasă a densității singelui, precizia dată fiind suficientă pentru cercetările clinice. În unul din procedeele mai folosite se prepară o serie de soluții etalon din glicerină și apă, amestecate în proporții variabile și cu un mic adaos de soluție de sublimat coroziv (clorură mercurică) pentru a împiedica fermentarea și deci alterarea soluțiilor și modificarea densității lor; aceste soluții sînt în număr de 24 și au densitatea între 1,027 și 1,073, fiecare soluție diferind de cealaltă, în densitate, cu 0,002. Se scoate puțin sînge printr-o înțepătură făcută la deget cu un ac de laborator, se aspiră cu o pipetă mică și se lasă să cadă cîte o picătură în cîteva pănărele cilindrice, conținînd fiecare cîte o cantitate din cele 24 de soluții de densități diferite. După cîteva încercări găsim soluția în care picătura de sînge plutește în interiorul lichidului; densitatea cunoscută a soluției este egală cu densitatea singelui, pe care o căutăm.

Această metodă directă se poate aplica și la substanțe solide, de exemplu. ceară, rășini, droguri. În acest caz se introduce, pe rînd, fragmente mici în cîteva din soluțiile din seria menționată și prin încercări succesive se găsește soluția în care fragmentul solid plutește în interiorul lichidului.

Areometrele (fig.75) sînt aparate de sticlă plutitoare, formate dintr-un cilindru cu diametrul de 2—3 cm, partea superioară avînd forma unui tub cilindric (tijă) de anumită lungime și cu diametrul de 0,3 — 0,6 cm. În partea inferioară, aparatul are un rezervor de formă sferică sau ovoidală, în care se află introdusă o substanță grea: pulbere metalică, alie de plumb, mercur etc. Această greutate aflată la partea inferioară coboară mult centrul de greutate al plutitorului față de centrul de presiune și menține astfel areometrul în poziție verticală în lichid.

Introducând areometrul într-un lichid, el se scufundă cu rezervorul cilindric mare și cu o parte din tubul subțire. Cu cât lichidul are densitatea mai mare, cu atât plutitorul se cufundă mai puțin, fiindcă presiunea de jos în sus este exercitată de o forță mai mare, și deci forța ascensională $p - P$ a lichidului este mai mare.

Se construiesc trei categorii de areometre: cu volum constant și greutate variabilă; cu greutate și volum variabil; cu volum variabil și greutate constantă. Pentru determinări practice și expeditiv se întrebuintează cel mai mult *areometrele cu greutate constantă*.

Pentru lichide mai dense decât apa se construiește areometrul astfel

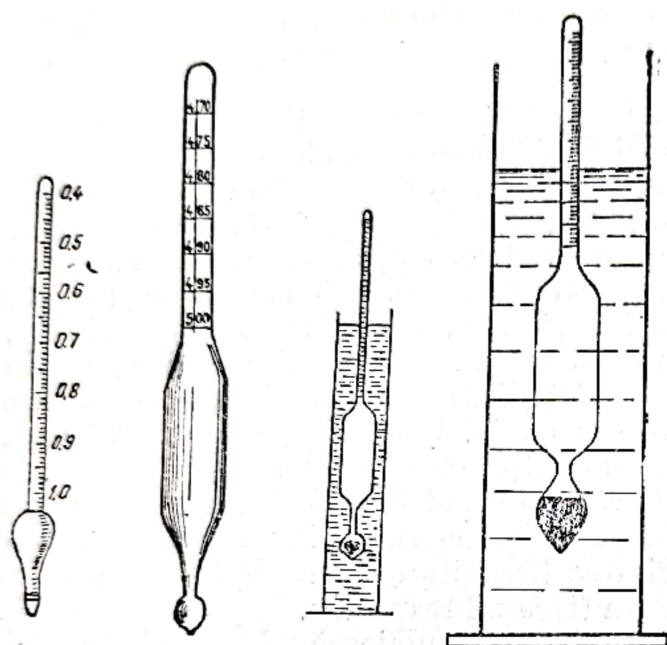


Fig. 75 — Areometre.

încît, introdus în apă distilată, el se scufundă aproape în întregime și atunci diviziunea 1,000 pentru apă distilată se află aproape de extremitatea superioară a tubului. Introducînd apoi aparatul, pe rînd, în lichide de densitate din ce în ce mai mare (densitate determinată prin metoda balanței hidrostatice sau a flaconușului, așa cum vom arăta mai departe), diviziunile aflate mai jos arată densități din ce în ce mai mari.

Dimpotrivă, dacă areometrul este astfel grevat încît să nu se scufunde decît cu partea cilindrică groasă în apă, iar nivelul apei distilate să se afle la partea inferioară a tu-

bului subțire, se notează densitatea 1,000 la baza tubului; introducînd pe rînd acest areometru în lichide mai puțin dense decât apa, el se va scufunda mai mult și vom avea în partea superioară densitatea cea mai mică pentru care areometrul este etalonat.

Se construiesc și areometre care au diviziunea 1,000 la mijlocul tijei; aceste aparate pot servi, atît pentru densități mai mari, pentru care au diviziunile mai jos de 1,000, cît și pentru densități mai mici, pentru care diviziunile merg în sus.

Aceste areometre, gradate astfel încît să arate direct densitatea relativă, se numesc și *densimetre*.

Alte areometre sînt gradate pentru concentrația anumitor soluții. Astfel sînt *alcoholmetrele*; aceste aparate indică proporția volumetrică de alcool pur aflat în amestecul alcool + apă care constituie alcoolul uzual. În alcool absolut, la 15°, alcoholmetrul arată 100, iar în apă distilată, la 15°, el arată 0. Dacă introducem alcoholmetrul în alcool diluat și constatăm că plutește astfel încît nivelul lichidului atinge diviziunea 70, înseamnă că acel alcool constă dintr-un amestec făcut din 70 volume de alcool și 30 volume de apă. Alcoholmetrul este deci un areometru pentru concentrația în volum; de aici și numele lui de *volumetru*.

Se construiesc areometre care arată concentrația în greutate; astfel, zaharimetrul arată procentul (în greutate) de zahăr conținut de o soluție de zahăr în apă.

Areometrul Baumé, pentru lichide mai dense decât apa, este divizat în grade de tip special. Acest areometru este astfel gradat încât, dacă este introdus în apă curată (la temperatura de $12,5^{\circ}$), arată 0° Bé. Acest punct 0 se află în partea de sus a tubului subțire al areometrului.

Introdus — la aceeași temperatură — într-o soluție de 15% NaCl, în apă, areometrul Baumé arată 15° Bé. Distanța dintre 0 și 15° Bé se divide în 15 părți egale, și diviziuni de aceeași mărime se prelungesc în jos până la 70° Bé.

Pentru a determina densitatea unui lichid, de exemplu acid sulfuric concentrat, glicerină etc., se citesc gradele Baumé până la care s-a scufundat areometrul și se caută în tabele alcătuite pentru fiecare substanță; la gradul respectiv se găsește concentrația.

Areometrul Baumé pentru lichide mai puțin dense decât apa are diviziunea 0° la baza tubului gradat; se indică nivelul până la care se cufundă areometrul în apă cu 10% NaCl. Apa curată are în acest areometru 10° Baumé. Distanța dintre 0 și 10° Bé se divide în 10 părți egale, și diviziuni de aceeași mărime se continuă până la partea de sus a tubului cilindric, ultima diviziune fiind 60° Bé. Scufundat în eter, areometrul Baumé arată 56° Bé; căutând în tabelele respective, găsim că acest număr de grade corespunde la 0,580 densitatea eterului.

Indicațiile date de diferitele areometre nu sînt riguros exacte. Adesea ele sînt falsificate și de modul greșit de citire a diviziunilor, datorită faptului că meniscul concav de lichid din jurul tubului cilindric variază cu tensiunea superficială a lichidului examinat, cu temperatura etc. Totuși, aceste aparate sînt întrebuintate curent în diferitele ramuri ale practicii industriale, medicale, alimentare etc., din cauza determinării rapide pe care o permit.

Pentru a mări sensibilitatea și exactitatea acestor areometre, tuburile cilindrice care cuprind diviziunile se fabrică cu diametrul cît mai mic cu putință, iar partea cilindrică, cu diametrul mare, capătă un volum foarte mare, pentru ca astfel diviziunile să fie cît mai distanțate cu putință unele de altele. Aceasta are însă și un inconvenient: tuburile trebuie să fie foarte lungi pentru a putea cuprinde numărul necesar de grade și sînt astfel expuse mai ușor spargerii, în caz de manipulare neatență.

Se remediază acest inconvenient construind areometre cu scară fracționată, pentru densități cuprinse între limite restrinse: 1—1,1; 1,1—1,2; 1,2—1,3 etc., în jurul unei anumite densități medii, legată de scopul pentru care a fost construit areometrul.

Lactodensimetrul sau lactometrul indică densitatea în jurul cifrei de 1,030, care reprezintă densitatea unui lapte normal. Unele lactometre arată și procentul de apă adăugat laptelui; altele au două feluri de diviziuni: unele pentru laptele nesmîntînit, altele pentru laptele din care s-a scos smîntîna.

Indicațiile sînt aproximative, fiindcă un lapte căruia i s-a adăugat apă are densitatea mai mică; dar, dacă în același timp i se scoate smîntîna, densitatea crește; ambele fraude se compensează astfel și falsifică împreună rezultatele.

Urodensimetrul este un areometru folosit în laboratorul de analize medicale; cu acest densimetru se determină densitatea urinei, constantă fizică ce dă de cele mai multe ori indicații prețioase pentru diagnostic. Urodensimetrul are gradațiile cuprinse între 1,001 și 1,040, cifre extreme la care densitățile urinei nu ajung decît în cazuri patologice. În mod normal, densitatea urinei este foarte apropiată de 1,018. O densitate superioară se întîlnește adesea în diabet, densitatea fiind mărită în acest caz din cauza procentului mare de glucoză din urină. În albuminurie, dimpotriva, densitatea este scăzută, dacă are loc în același timp o poliurie.

Balanța hidrostatică este folosită la determinarea densității substanțelor care servesc la etalonarea aparatelor expeditiv cum sînt areometrele. Pentru determinarea densității:

$$D = \frac{P}{P'} \cdot d$$

se atîrnă corpul, a cărui densitate o căutăm, de talerul balanței hidrostatice și se cîntărește. Avem astfel valoarea P ; introducînd apoi acest corp în apă,

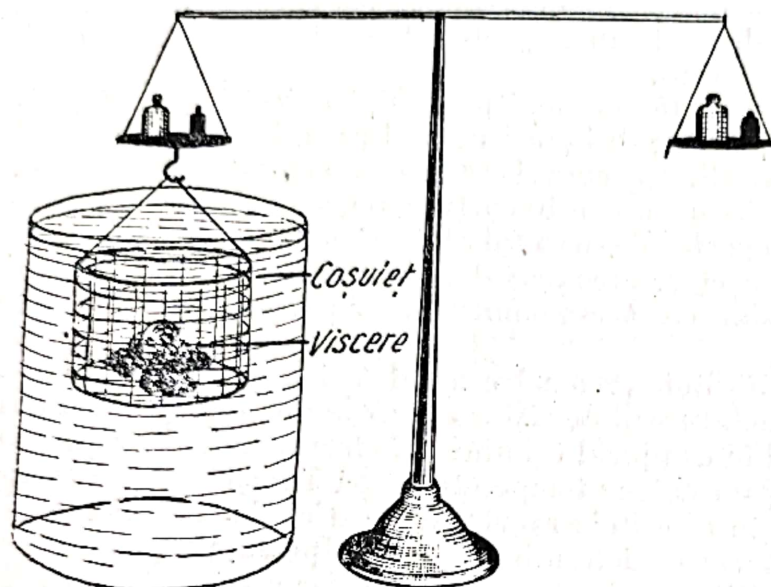


Fig. 76 — Balanța hidrostatică pentru determinarea densității viscerelor.

el este împins de jos în sus de către apă; pentru a readuce balanța în echilibru, se pun greutateți în talerul de care este atîrnat corpul. Aceste greutateți reprezintă mărimea P' , adică greutatea volumului de apă dislocuit. Se calculează apoi valoarea densității relative, folosind formula arătată.

Balanța hidrostatică este folosită uneori pentru cercetări de biologie, fiziologie și fiziopatologie. În cazul determinării den-

sității unor viscere se folosește o balanță hidrostatică de tip special (fig. 76), cu brațele egale, avînd două talere scurte, dar unul dintre ele este continuat cu un coșuleț de sîrmă inoxidabilă sau de substanță plastică ce nu se alterează în contact cu apa. Coșulețul este echilibrat cu greutateți pe celălalt platan.

Pentru a determina densitatea viscerelor studiate, acestea sînt introduse în coșuleț și se cîntăresc pentru a se obține greutatea lor P . Se aduce apoi sub coșuleț un vas mare cu apă distilată, la temperatura de $+4,2^\circ$, și se ridică acest vas pînă ce imersiunea coșulețului cu viscere este completă. Se fixează vasul cu apă pe un piedestal. Apa exercită de jos în sus o presiune egală cu greutatea volumului de lichid dislocuit, atît de viscere, cît și de coșuleț. Din aceste cifre, scăzînd volumul coșulețului, determinat la construirea aparatului, obținem volumul viscerelor. Din greutatea și volumul acestor viscere rezultă raportul lor, care, cu corecturile necesare, ne dă densitatea relativă a viscerelor. Balanța hidrostatică se poate întrebuița la determinarea densității lichidelor. Pentru această determinare, atîrnăm un corp solid inalterabil în diferitele lichide cu care se lucrează (de preferință un cilindru de sticlă), de unul din platanele balanței, și introducem pe rînd acest cilindru în apă distilată și în lichidul de examinat. Raportul dintre presiunea P a lichidului de jos în sus pe care o echilibrăm cu greutateți pe platanul de care atîrnă cilindru și presiunea P' a apei, de asemenea echilibrată cu greutateți, ne dă densitatea lichidului în raport cu apa.

Pentru determinările curente de laborator se fabrică diferite modele de balanțe, bazate pe principiul lui Arhimede. Aceste aparate servesc la determinări expeditiv.

O asemenea balanță, de format mic, are la capătul liber al pîrghiei un plutitor de sticlă care se introduce în lichid; pentru echilibrarea presiunii de jos în sus a lichidului se deplasează pe brațul pîrghiei un cursor de greutate fixă; momentele produse de greutatea fixă a cursorului și distanța la care acesta se află față de punctul de sprijin sînt variabile; această distanță se etalonează și arată direct densitatea lichidului în raport cu apa.

Balanța Mohr (fig. 77) este o balanță asemănătoare celei de mai sus; ea este întrebuințată pentru determinări expeditivă și dă rezultate directe,

în cifre de densitate cu 4 zecimale. Balanța Mohr are brațele neegale, unul din ele fiind divizat în 10 părți egale prin creștături făcute pe muchia superioară a pîrghiei. La capătul acestei pîrghii se atîrnă un plutitor cilindric de sticlă *D*, care are în interior un termometru. O serie de cavaleri de sîrmă inoxidabilă servesc la echilibrarea balanței; prin așezarea cavale-

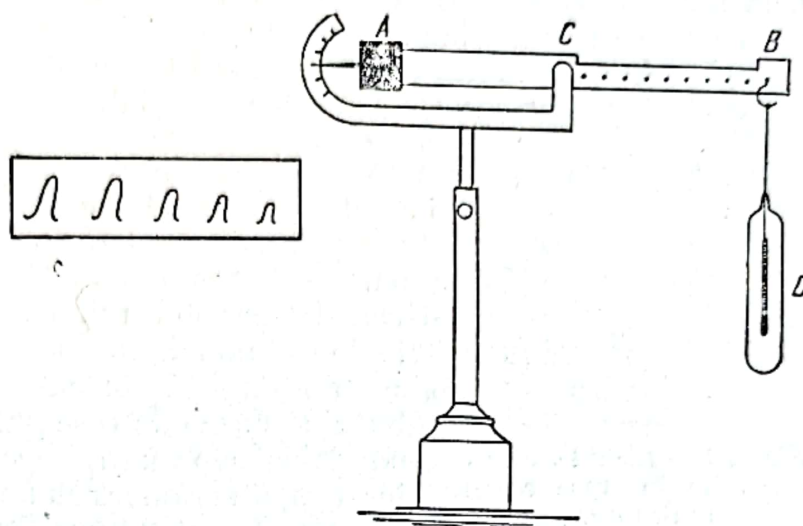


Fig. 77 — Balanța Mohr.

rilor la diferite diviziuni, pîrghia cu plutitorul, împins de lichid de jos în sus, își revine la poziția de echilibru.

În aer, balanța Mohr stă în echilibru, plutitorul de sticlă fiind echilibrat de o greutate fixă aflată pe brațul celălalt al balanței. Introdus în apă, plutitorul este împins de jos în sus; pentru a-l readuce în poziția de echilibru se atîrnă pe diviziunea 10 un cavaler care are valoarea 1; acesta reprezintă densitatea apei.

Dacă în loc de apă avem de determinat densitatea unei soluții oarecare, pentru a echilibra presiunea de jos în sus a lichidului asupra plutitorului, atîrnăm cavalerul *A* la diviziunea 10; al doilea cavaler, care are tot mărimea *A*, îl așezăm de exemplu la diviziunea 2; al treilea cavaler, care are greutatea cît o zecime din cavalerul *A*, îl așezăm la diviziunea 4, de exemplu; al patrulea cavaler, care valorează cît o zecime din al treilea, îl așezăm la diviziunea 7 și al cincilea cavaler, care valorează cît o zecime din al patrulea, la diviziunea 3. În acest caz concret, densitatea lichidului este egală cu 1,2473.

Pentru lichide mai puțin dense decît apa servesc numai patru cavaleri, și se obține densitatea sub forma următoare: 0,8635.

Metoda legată de folosirea balanței. În această metodă se cîntărește pe rînd, în același vas, atît cantitatea de lichid care are greutatea *P*, cît și cantitatea de apă care are greutatea *P'*. Pentru cîntărire se folosesc vase de formă specială, numite *pichometre*.

Raportul celor două greutăți înmulțit cu densitatea apei la temperatura la care se lucrează ne dă densitatea relativă a lichidului respectiv:

$$D = \frac{P}{P'} \cdot d$$

Unele picnometre au și un termometru, care arată temperatura lichidului a.căruia densitate se determină.

Pentru a determina densitatea unui corp solid se așază un fragment din acest corp pe platan împreună cu picnometrul plin cu apă și se echilibrează balanța.

Introducând corpul în flaconaș, el deplasează o cantitate de apă care iese afară, așa că greutatea flaconașului + apă + corp este mai mică tocmai cu greutatea volumului de apă dislocuit și evacuat de acel corp. Avem deci elementele necesare P și P' pentru a determina densitatea corpului solid. Dacă acest corp este solubil în apă, lucrăm cu un alt lichid de densitate cunoscută și facem apoi referirea prin calcul la densitatea apei.

Metoda vaselor comunicante se aplică în cazul când se află în prezență două lichide nemiscibile, cu densitate diferită.

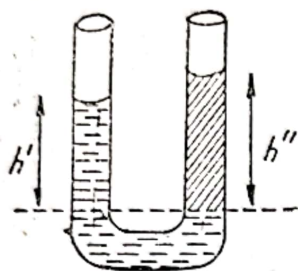


Fig. 78 — Lichide nemiscibile în vase comunicante.

Astfel, dacă avem de exemplu benzină și apă și le introducem, în volume egale, în cele două ramuri, de același calibru, ale unui tub (fig. 78) în formă de U, separate printr-un robinet, lichidele vor avea același nivel. Deschizând robinetul de comunicare între cele două ramuri, apa pătrunde în ramura cu benzină și o împinge în sus. În cele două ramuri ale tubului în formă de U se produce o denivelare. Pornind de la suprafața, care cuprinde nivelul nou atins de apă în ramura cu benzină, cele două coloane de deasupra, una de benzină și una de apă, trebuie să aibă aceeași greutate, fiindcă își fac echilibru, adică sînt susținute de aceeași presiune conform principiului lui Pascal. Deci: $p' = p''$.

Dar

$$p' = h'd'g;$$

și

$$p'' = h''d''g;$$

deci

$$h'd' = h''d'',$$

de unde

$$\frac{h'}{h''} = \frac{d''}{d'},$$

adică înălțimile coloanelor de lichid în cele două ramuri (de la linia punctată) sînt invers proporționale cu densitățile acestor lichide. Deci, dacă unul din lichide este, cum a fost exemplul dat, apă distilată, care are densitatea 1 la temperatura de 4,2°, vom avea

$$d'' = \frac{h'(\text{apă})}{h''(\text{benzină})}$$

adică densitatea lichidului de studiat, a benzinei în cazul nostru, este egală cu raportul dintre înălțimea coloanei de apă și a celei de benzină, măsurate de la suprafața AA'.

Această aplicație a vaselor comunicante la determinarea densității lichidelor e ușor de folosit la lichidele care nu se amestecă, însă nu este destul de precisă din cauza dificultăților de a se determina exact nivelul lichidului și expeditiv nivelul planului redat în fig. 78 prin linia punctată.

Densitatea este o constantă fizică caracteristică pentru fiecare substanță în condițiile de temperatură și presiune date. Temperatura are o influență hotărîtoare. În adevăr, sub acțiunea căldurii, corpurile se dilată, își măresc

volumul. Raportul $D = \frac{P}{V}$ depinde deci de variația lui V , în sensul că, temperatura unui corp fiind mai ridicată, volumul lui este mai mare, așa că densitatea va fi mai mică.

La corpurile solide, în limite restrânse, temperatura și presiunea nu influențează mult valoarea densității determinate prin metodele arătate mai sus. La lichide și la gaze, influența temperaturii este mai mare. La gaze trebuie să ținem seama și de presiunea la care se află gazul. De aceea, uneori, constanta fizică D (densitatea relativă) este însoțită de un indice care arată la ce temperatură a fost determinată (de exemplu, D_{15° = densitatea la 15°). Alteori se fac corecții pentru a reduce rezultatele la 0, la 15 sau la 20° .

Densimetrie biologică. În afară de datele și exemplele biologice și medicale citate în capitolul despre densimetrie, trebuie să mai arătăm că, în ceea ce privește densitatea lichidelor biologice și în primul rând a sîngelui și a urinei, cercetările de laborator au dus la rezultate care servesc la comparare oricăror rezultate obținute în determinările curente de laborator.

Determinarea densității urinei este o măsurătoare curentă în clinică și laborator. La o emisiune de circa 1 500 ml, considerată ca normală în 24 de ore, densitatea urinei variază între 1,015 și 1,025. Prezența glucozei în urină determină o ridicare a densității la 1,030 și mai mult.

Densitatea sîngelui este aproape invariabilă în cazuri normale; aceasta se datorește mecanismelor fiziologice reglatoare. Densitatea sîngelui variază puțin din cauza ingerării alimentelor, îndeosebi a lichidelor.

În general, densitatea sîngelui variază între 1,057 și 1,066. În medie se admite densitatea de 1,061 a sîngelui la bărbat și 1,058 la femeie.

În stare de anemie, scăderea hemoglobinei din sînge are ca efect scăderea densității sîngelui. În uremie, nefrită cronică, se constată o scădere a densității sîngelui.

B. HIDRODINAMICA

Partea din mecanică ce se ocupă cu studiul mișcării lichidelor se numește hidrodinamică.

Un lichid ideal, incompresibil și absolut nevîscos, constituie un mediu continuu, în care se pot forma curenți, adică se poate produce deplasarea unor părți față de celelalte. Dacă lichidul este compresibil, se formează în acest mediu continuu, atît curenți, cît și unde. În cele ce urmează vor fi adîncite cîteva elemente principale de hidrodinamică, necesare unei bune însușiri a hidrodinamicii fiziologice și medicale, îndeosebi hemodinamica.

1. VITEZA DE CURGERE

Cînd lichidul curge, moleculele au o anumită viteză, care se măsoară cu spațiul parcurs în lungime în unitatea de timp. În lichidul în mișcare, fiecărei molecule îi corespunde vectorul care reprezintă viteza, iar întreaga cantitate de lichid în mișcare reprezintă cîmpul vectorului viteză.

În acest cîmp, tangentele la anumite linii, numite *linii de curent*, coincid cu direcția mișcării moleculelor de lichid în acel punct. Cînd vitezele lichidului în diferitele puncte sînt constante, curentul este uniform. Liniile de curent din lichid se pot face vizibile, introducînd în suspensie, în lichid, particule colorate, vizibile.

Experiența arată (fig. 79) că, în mod obișnuit, liniile de curent sînt mai dese acolo unde viteza lichidului este mai mare și mai rare acolo unde viteza este mai mică.

Partea de lichid limitată de liniile de curent se numește tub de curent. La curgerea în regim uniform a unui lichid ideal, nevîscos și necompresibil, printr-un tub real, în locul unde tubul este mai larg, lichidul curge mai încet, iar unde tubul este mai îngust, lichidul curge mai repede.

Aceasta se demonstrează prin teorema care are drept enunțare

$$\Delta S \cdot v = \text{const.},$$

și care arată că produsul dintre secțiunea tubului în acel loc și viteza curentului este constant.

Debit se numește produsul dintre viteza lichidului și secțiunea vasului prin care curge lichidul în locul menționat. Cantitatea de lichid deplasată este egală cu produsul dintre debit și timpul folosit pentru deplasarea acelei cantități de lichid.

Curgerea unui lichid se poate examina în diferite condiții.

2. CURGEREA PRINTR-UN TUB VERTICAL

Într-un tub vertical, de secțiune circulară și de diametru apreciabil (fig. 80), viteza de curgere nu este uniformă în toată secțiunea tubului: în axă, viteza este mai mare, iar lângă pereții tubului este mai mică. Aceasta se datorește frecării lichidului de pereții vasului și frecării dintre straturile elementare de lichid între ele, pe de o parte, gravitației, pe de altă parte.

Suprafața liberă a lichidului nu mai are forma plană și orizontală, ci prezintă o depresiune în regiunea axei tubului. În această regiune, unde viteza este maximă, se produce o depresiune apreciabilă și uneori aerul de deasupra este chiar absorbit și încorporat din cauza vârtejului care se formează, lichidul curgînd astfel în axă cu bule de aer.

Dacă examinăm curgerea aceasta pe un segment de cilindru care să aibă drept secțiune un sector circular cu vârful unghiului la centru pe axă, putem considera fiecare strat ca o lamă de lichid, și curgerea cu viteza din ce în ce mai mare o putem astfel considera ca o curgere laminară, unde fiecare lamă de grosime elementară alunecă peste cea vecină, viteza micșorîndu-se treptat spre periferie, din cauza frecărilor menționate.

Curgerea laminară nu este caracteristică numai tuburilor verticale, ci pentru orice fel de tub unde considerăm lichidul în întregime de la un punct de pe perete la altul diametral opus. Chiar într-un tub orizontal, de diametru mare, în care putem considera un câmp uniform de viteze, avem totuși, lângă pereții tubului, pe o mică porțiune în grosime, o curgere laminară din cauza fenomenelor frecării de pereți de care am vorbit. Cu cît lumina tubului se micșorează, cu atît diferența dintre viteza în axă și cea

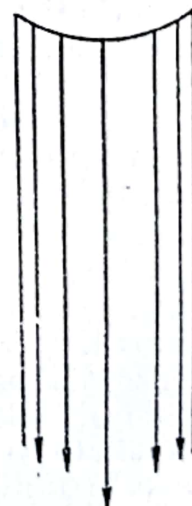


Fig. 80
Curgerea unui lichid printr-un tub vertical.

de la perete se micșorează, fiindcă, în timp ce stratul aderent la perete și cele vecine mai puțin mobile își păstrează grosimea, partea centrală este din ce în ce mai mică.

3. CURGEREA PRINTR-UN ORIFICIU LATERAL

Introducând un lichid într-un vas care are o deschidere laterală în partea inferioară, și deschizând orificiul, lichidul va curge cu o viteză cu atât mai mare cu cât înălțimea coloanei de lichid de deasupra deschiderii este mai mare, adică cu cât presiunea hidrostatică ce se exercită asupra nivelului orizontal la care se află deschiderea este mai mare.

Legătura dintre înălțimea suprafeței libere a lichidului și viteza de curgere a fost dată de E. Torricelli (1608—1647), care a folosit raționamentul următor: presupunem că, prin ieșirea unei mase m de lichid prin tubul lateral (fig. 81), suprafața liberă 1 a coborât la 2. Ieșirea acestei mase din vas echivalează cu căderea ei de la suprafața liberă 1 la nivelul de curgere. În această coborire h , masa m face un lucru mecanic, care se transformă în energie cinetică a vinei de apă ce iese prin deschidere.

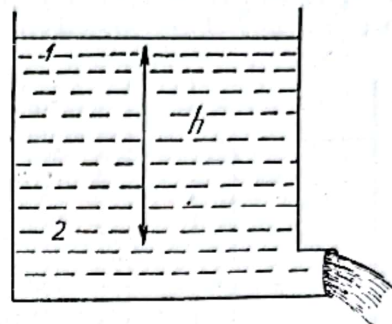


Fig. 81 — Curgerea printr-un orificiu lateral.

Lucrul mecanic fiind mgh și energia cinetică echivalentă fiind $\frac{mv^2}{2}$,

vom avea

$$mgh = \frac{mv^2}{2}$$

de unde

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Formula lui Torricelli dă valoarea, în orice moment, a vitezei de curgere v și arată că aceasta depinde numai de înălțimea coloanei de lichid, iar nu de cantitatea de lichid din vas. Această formulă arată că viteza căpătată de vîna de lichid, la curgerea ei de la înălțimea h , are aceeași valoare cu viteza pe care o capătă un corp în cădere liberă pornind de la aceeași înălțime (formula lui Galileu).

Dependența vitezei v de înălțimea h se poate verifica experimental cu un vas de formă paralelipipedică ce are două deschideri (fig. 82) și care

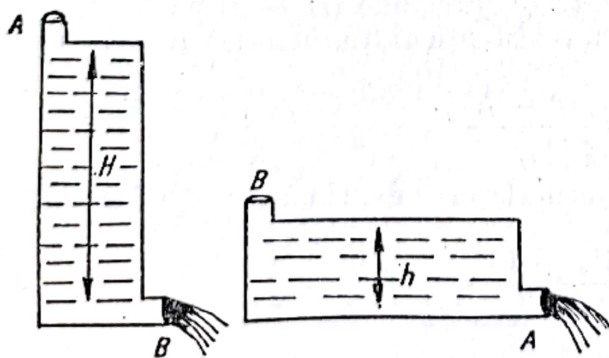


Fig. 82 — Verificarea formulei lui Torricelli.

poate fi așezat în două poziții, astfel ca una din deschideri să fie pentru primirea lichidului și cealaltă pentru ieșirea lui. Dacă una din suprafețele libere este la o înălțime de două ori mai mare decât cealaltă, un calcul simplu arată că viteza în același vas, dar în poziția în care $h_2 = 2h_1$, viteza $v_2 = 1,41v_1$ și deci $v_2 = v_1 \sqrt{2}$.

4. CURGEREA PRIN TUBURI ORIZONTALE RIGIDE

Într-un tub orizontal, cu pereții rigizi, închis în C (fig. 83) și care primește lichid de la rezervorul R , presiunea exercitată pe planul AB de masa de lichid împinge rezistența lichidului din tubul ABC , îndreptată de jos în sus. Dacă practicăm câteva deschideri în porțiunea BC și montăm câteva tuburi de sticlă d, e, f , de înălțimea rezervorului R , presiunea la intrarea lichidului în aceste tuburi este aceeași ca și pe planul AB din rezervor; deci, lichidul se va urca la același nivel ca în R ; aceste tuburi de presiune se numesc *tuburi piezometrice*. Vom avea aici evident un sistem de vase comunicante și se va verifica astfel că principiul vaselor comunicante este un caz particular al principiului lui Pascal, întrucât presiunea exercitată de coloana de lichid din R se răspindește în toate direcțiile, și deci ridică lichidul din AB la același nivel în tuburile piezometrice ca și în rezervorul R .

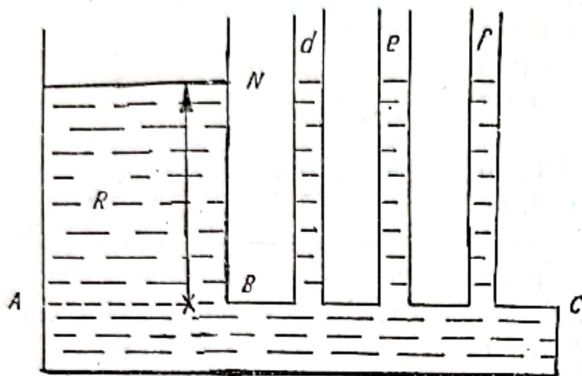


Fig. 83 — Tub orizontal cu tuburi piezometrice.

Deschizând robinetul în C lichidul începe să curgă, și atunci, în tuburile piezometrice, se produce o denivelare treptată (fig. 84), înălțimea coloanei de lichid scăzând cu atât mai mult cu cât ne depărtăm de rezervorul R .

Dacă tubul rigid orizontal are diametrul uniform, această denivelare are o formă liniară, începând de sub nivelul lichidului din rezervor și terminând la deschiderea de ieșire a lichidului.

a) **Legea fundamentală a hidrodinamicii** arată că această denivelare se datorește scăderii presiunii lichidului în tubul orizontal pe măsura depărtării de la rezervor, din cauza rezistenței hidrodinamice pe care o împinge lichidul.

Experiența arată că rezistența hidrodinamică este direct proporțională cu lungimea l a tubului și invers proporțională cu secțiunea sa s :

$$R = k \cdot \frac{l}{s}, \quad (1)$$

unde k este un coeficient numit rezistența specifică, ce depinde de natura lichidului, adică de vâscozitatea lui. Din cauza rezistenței hidrodinamice, presiunea descrește de-a lungul tubului pe măsură ce crește lungimea sa l .

Debitul q al unui lichid într-un asemenea tub cu secțiune uniformă reprezintă cantitatea de lichid care trece într-o secundă printr-o secțiune a tubului, este proporțional cu diferența de presiune ($H - h$) pe lungimea l considerată, și invers proporțional cu rezistența hidrodinamică R exprimată prin formula de mai sus (1):

$$q = \frac{H - h}{R} \quad (2)$$

Se constată aici asemănarea cu formula care exprimă legea lui Ohm din electricitate:

$$I = \frac{V_a - V_b}{R},$$

unde $R = \rho \frac{l}{s}$, are aceeași expresie ca rezistența hidrodinamică. (1).

b) Legile curgerii lichidelor prin tuburi orizontale au fost descoperite și formulate de Daniel Bernoulli, fizician și matematician (1702—1782), și îi poartă numele.

Aceste legi se pot formula schematic astfel:

În curgerea unui lichid printr-un tub orizontal, cu secțiune uniformă, căderea de presiune este liniară. Unind printr-o dreaptă punctul C al orificiului de curgere cu un punct M aflat sub nivelul AA' , această linie atinge toate nivelurile coloanelor piezometrice menționate mai înainte. Din formulele (1) și (2) rezultă că, cu cât lungimea tubului orizontal crește, cu atât presiunea descrește, începând de la rezervor și până la ieșirea C .

Din aceleași formule rezultă că pentru un tub cu rezistență hidrodinamică constantă, deci cu lungime și secțiune invariabile în tot cursul lui, valoarea lui h crește, și deci diferența $H - h$ scade când debitul și deci viteza de curgere scade; aceasta este valabil și pentru fenomenul invers. Verificarea experimentală se face închizând parțial robinetul de ieșire, pentru ca debitul

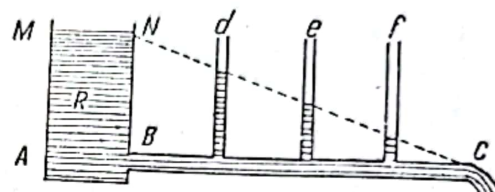


Fig. 84 — Curgerea printr-un tub orizontal cu secțiunea uniformă.

să scadă: se observă cum lichidul în tuburile piezometrice se urcă, păstrând între ele o denivelare mai mică, însă tot liniară. Manevrând treptat robinetul până la închidere completă, nivelul lichidului se urcă treptat, denivelarea dispare și ajungem din nou la vase comunicante, cu presiune hidrostatică egală, și deci cu același nivel.

Mai reiese din aceleași formule că h crește când secțiunea s crește și ea, ceea ce înseamnă că, dacă un tub nu are secțiune uniformă, în regiunea cu secțiune mai mare presiunea este mai mare, iar acolo unde secțiunea tubului orizontal este mai mică, înălțimea lichidului în coloanele piezometrice este și ea mai mică (fig. 85).

Vom vedea, la aplicarea legilor hidrodinamice în hemodinamică, însemnătatea pe care o are o asemenea mărire a secțiunii pe traiectul unei artere.

La curgerea în regim uniform a unui lichid nevâscos și incompresibil printr-un tub real, lichidul curge mai încet în locul unde tubul este mai larg, iar în locul unde tubul este mai strîmt lichidul curge mai repede. Studiind o masă de lichid care curge printr-un tub orizontal, precum și lucrul mecanic produs, deoarece asupra acestei mase acționează presiunea lichidului, Daniel Bernoulli, în cadrul lucrărilor sale făcute la Petersburg (1735—1740), a stabilit ecuația următoare:

$$\frac{\delta v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\delta v_2^2}{2} + p_2,$$

unde δ este densitatea lichidului, p_1 este presiunea la un capăt al segmentului de tub considerat, iar p_2 , presiunea lichidului la capătul celălalt; v_1 este viteza de la început și v_2 , viteza de la sfîrșit.

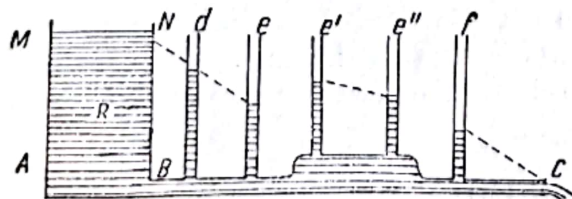


Fig. 85 — Curgerea printr-un tub orizontal cu secțiuni diferite.

Din această formulă reiese că, în regiunea unde viteza lichidului este mai mare, presiunea este mai coborîtă. În părțile înguste ale curentului de lichid, dacă viteza de curgere este mare,

presiunea devine chiar negativă și vîna de lichid poate avea asupra atmosferei ambiante, în condiții potrivite, o acțiune de aspirație. Pe acest principiu funcționează unele aparate de făcut vid, cum sînt trompa de apă, pulverizatoarele de lichid din tehnică, aparatele de aerosoli folosite în clinică etc.

5. CURGEREA PRIN TUBURI ELASTICE

În tuburi elastice, curgerea continuă a unui lichid se face la fel ca în tuburile rigide; cînd debitarea lichidului se face însă intermitent, curgerea are o particularitate legată de structura elastică a tubului.

Marey a arătat comparativ curgerea prin două tuburi: unul elastic și unul rigid, printr-o experiență rămasă clasică (fig. 86).

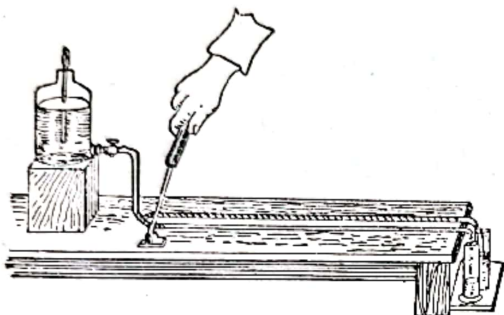


Fig. 86 — Curgerea lichidelor prin tuburi elastice.

Întrerupînd ritmic un curent de apă care curge printr-un tub ce se bifurcă și are una din ramuri formată dintr-un tub de cauciuc, iar cealaltă dintr-un tub de sticlă de același calibru, se constată că, în timp ce curgerea este intermitentă în tubul de sticlă, fiindcă la fiecare oprire presiunea atmosferică se opune curgerii cantității de lichid aflată în tubul orizontal de sticlă, în tubul de cauciuc curgerea are loc și în timpul întreruperii

debitului din rezervor; curgerea prin tubul de cauciuc se face însă în acest caz cu o viteză mai mică. Așezînd doi cilindri gradați sub extremitățile celor două tuburi, se constată că, după un anumit număr de întreruperi, în cilindrul de sub tubul de cauciuc s-a adunat mai mult lichid decît în cilindrul de sub tubul de sticlă, deși diametrul lor interior este același.

Fenomenul se explică prin elasticitatea tubului de cauciuc. Presiunea lichidului care vine dintr-un rezervor cu debit constant acționează asupra coloanei de lichid aflată în tubul elastic, dar și asupra peretelui elastic al tubului, căruia îi imprimă o deformare elastică, adică îl destinde. Pentru un timp elementar, s-a produs la locul deformăției o mărire de volum a tubului. Tubul deformat elastic își revine apoi la forma inițială, dezvoltînd o forță elastică echivalentă cu deformăția, și debitează deci cantitatea de lichid înmagazinată prin dilatarea pereților; astfel, lichidul continuă să curgă, dar nu din rezervor, ci din spațiul suplimentar cu care tubul elastic și-a mărit diametrul prin deformarea elastică suferită. Avem deci în tubul elastic o continuare de curgere, cu viteză mai mică, și un volum de lichid în plus față de tubul de sticlă.

C. HEMODINAMICA

Sîngele circulînd în vase ca într-un sistem de tuburi, circulația se face după legile fundamentale ale hidrodinamicii. Capitolul de fizică medicală care studiază fenomenele fizice ale circulației, aparatele, modelele și dispozitivele experimentale construite în vederea acestui studiu a primit numele de hemodinamică.

1. MECANICA INIMII

Sîngele circulă în vasele sanguine fiind propulsat de inimă în aparatul cardio-vascular; energia este transmisă sîngelui prin contracția inimii.

Unele analogii între funcționarea inimii și cea a unei pompe, precum și analogia dintre artere și tuburile elastice, au sugerat cercetătorilor studierea circulației cu ajutorul unor modele mecanice.

Au fost construite inimi și vase mecanice, unele extrem de simple și schematice, altele foarte complicate. Modelele mecanice ale circulației demonstrează mecanismul circulator, explică fenomenele fizice observate în circulația singelui, permit lămurirea multor fenomene din fiziologia normală și patologică (debitul sanguin, raportul dintre presiune și viteză, unele forme ale pulsului, tulburările circulatorii produse prin pierderea elasticității arterelor, anevrisme etc). Fenomenele circulatorii nu pot fi însă asimilate cu cele din modelele mecanice.

a) **Inima** este principalul organ propulsor al singelui. Circulația singelui este condiționată de contracțiile ritmice ale inimii, care alternează cu relaxările ei.

Reprezentarea falsă a inimii ca pompă aspiratoare s-a născut din observația că presiunea venoasă la nivelul vărsării venelor cave în atriu este cu 3—7 mm Hg mai mică decât presiunea atmosferică.

Dacă toată energia expulsivă a inimii s-ar fi consumat pe întreg parcursul circulator, presiunea în atriu ar fi trebuit să ajungă la zero. Apariția unei presiuni „negative” indică o forță *activă*, de aspirație, atribuită inimii.

În realitate, această aspirație există, dar nu e datorită inimii. Este vorba de aspirația „toracică”, de presiunea „negativă”, despre care va fi vorba la capitolul „mecanica respirației”. Datorită valvei tricuspide și bicuspide se realizează un sens unic în mișcarea singelui. În timpul diastolei (relaxarea mușchiului cardiac), atriile se umplu, în sistola atrială, singele trece în ventriculi, iar în sistolele ventriculare, singele arterial din ventriculul stâng este trimis în aortă, iar cel venos din ventriculul drept, în artera pulmonară.

Activitatea inimii poate fi sesizată prin simțurile noastre. Astfel vom putea vedea lovitura vârfului inimii, șocul apexian, în al cincilea spațiu intercostal stâng, și o putem palpa. De asemenea, cu urechea ne dăm seama de zgomotele rezultate din activitatea inimii. Aceste zgomote se percep amplificate cu ajutorul stetoscopului simplu sau al celui electric. Pentru clinică, sălile de curs și de operații, se construiesc stetoscoape cu amplificare prin aparate electronice, care permit ascultarea în difuzor a zgomotelor rezultate din activitatea inimii. Se construiesc aparate care înregistrează aceste zgomote (fonocardiografe), precum și șocul apexian.

Pentru explorarea aparatului circulator se folosesc astăzi metode obiective de mare precizie: ortodiagrama radiologică, electrocardiografia etc.; aceste metode vor fi descrise la capitolele respective.

În medie, frecvența contracțiilor inimii, la omul adult, este de 70 pe minut la bărbat și 80 la femeie; la copii, frecvența este mai mare. În scara animală, în general, frecvența contracțiilor ventriculare este cu atât mai mare cu cât animalul este mai mic. Astfel, la cal, frecvența contracțiilor pe minut este de 30—40, la oaie de 70—80, la câinele de mărime mijlocie de 90, la iepure de 150. Activitatea musculară și temperatura mai ridicată a corpului accelerează și bătăile inimii.

b) **Lucrul mecanic al inimii.** Dintre fenomenele fizice ce se desfășoară în cursul activității inimii, prezintă un interes deosebit lucrul mecanic efectuat de acest organ.

Expresia lucrului mecanic $L = F \cdot d$ poate fi aplicată în cazul inimii considerată schematic ca o pompă refulantă. Dacă într-un corp de pompă cu secțiunea s (fig. 87) se deplasează un piston care exercită asupra lichidului

o presiune a cărei valoare pe unitatea de suprafață este p , presiunea totală a pistonului va fi ps . În unitatea de timp, acest piston parcurge în cilindru o distanță d , deplasând o coloană de lichid pe această distanță. Pistonul va produce deci un lucru mecanic care poate fi exprimat prin formula

$$L = p \cdot s \cdot d, \quad (1)$$

expresie care poate fi scrisă și sub forma

$$L = p (s \cdot d),$$

în care produsul din paranteză, dintre secțiunea tubului și lungimea deplasării, este tocmai volumul lichidului deplasat în unitatea de timp, adică tocmai debitul q al pompei. Expresia lucrului mecanic devine deci

$$L = p \cdot q. \quad (2)$$

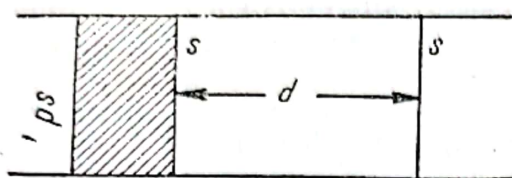


Fig. 87 — Lucrul mecanic făcut de inimă (schemă).

Această formulă este valabilă pentru o pompă care funcționează continuu. Dacă funcționarea este intermitentă, cum este cazul la inimă, care refulează in-

termitent singele în aortă, trebuie să mai ținem seamă și de variațiile de viteză ale coloanei de lichid.

În adevăr, pentru a imprima unei mase m o viteză anumită v , trebuie să facem un lucru mecanic echivalent cu $\frac{mv^2}{2}$. În cazul pompării intermitente, expresia lucrului mecanic făcut de inimă va fi deci:

$$L = p \cdot q + \frac{mv^2}{2} \quad (3)$$

Efectuarea acestui calcul, pentru inimă, cere cunoașterea presiunii singelui în momentul sistolei, debitul inimii și viteza cu care singele pornește din inimă.

Se poate aplica această formulă pentru a calcula lucrul mecanic al ventriculilor (la atrii, lucrul mecanic este neglijabil). Debitul ventriculilor, determinat prin mijloace indirecte, este în medie de 71 ml pentru fiecare sistolă. Presiunea sanguină medie produsă prin contracția ventriculilor este de 90 de torri ($122,4 \text{ g/cm}^2$) pentru ventriculul stâng și 30 de torri ($40,8 \text{ g/cm}^2$) pentru ventriculul drept.

Pentru o contracție vom avea deci, după formula $L = p \cdot q$.

$$L. \text{ ventr. st.} = 122,4 \times 71 = 0,0869 \text{ kgm}$$

$$L. \text{ ventr. dr.} = 40,8 \times 71 = 0,0284 \text{ kgm}$$

$$L. \text{ ventr.} = 0,1153 \text{ kgm}$$

Pentru a calcula lucrul mecanic al inimii într-un interval anumit, se folosesc elementele date de experiență; aplicând formula (3) de mai sus, se ajunge la un lucru mecanic aproximativ de 0,3 kgm de fiecare contracție. La 70 de contracții în medie pe minut ale inimii unui om în repaus total, adică $\sim 100\,000$ pulsații în 24 de ore, avem un lucru mecanic efectuat de inimă de $\sim 30\,000$ kgm.

În cursul unei munci, numărul contracțiilor crește, presiunea se ridică, așa că valoarea lucrului mecanic al inimii se poate ridica uneori pînă la o valoare dublă.

Pentru a putea cuprinde întreaga mecanică a circulației, trebuie să studiem din punctul de vedere hidrodinamic și vasele, care opun o rezistență la trecerea sîngelui, precum și fenomenele fizice legate de circulația acestui fluid prin vase elastice.

a) **Regimul și debitul.** Inima aruncînd intermitent, la fiecare sistolă, o cantitate de sînge în artere, ar trebui ca regimul de curgere a sîngelui prin vase să fie și el intermitent. În hemodinamică aplicîndu-se însă curgerea lichidelor studiată în hidrodinamică și diferitele condiții create de elasticitatea arterelor, sîngele curge în regim continuu. Dar elasticitatea arterială, în afară de faptul că transformă regimul intermitent de propulsare într-un regim continuu de curgere, mărește, cum am văzut, și debitul sîngelui în vase. Debitul sanguin fiind deci mai mare decît dacă pereții arteriali ar fi rigizi, elasticitatea arterelor economisește inimii un efort, adică efectuarea unui lucru mecanic pentru propulsarea unei anumite cantități de sînge. În adevăr, energia potențială înmagazinată în pereții arteriali este întrebuințată sub formă de forță elastică la propulsarea parțială a masei sanguine, așa că inima are de făcut un lucru mecanic mai mic în momentul sistolei decît dacă masa de sînge ar fi stagnat în vase în timpul diastolei.

Cînd pereții arteriali devin rigizi, acest ajutor pe care elasticitatea arterei îl dă inimii dispăre sau este foarte mult micșorat, ceea ce face ca inima să efectueze un lucru mecanic mult mai mare decît în cazuri normale.

Micșorîndu-se debitul din cauza pierderii elasticității, efortul inimii pentru a menține debitul necesar este mai mare și ventriculii se hipertrofiază.

b) **Presiunea sîngelui în vase.** Presiunea pe care contracția ventriculară o dă sîngelui în vase se poate pune în evidență și în mod direct. Astfel, secționînd o arteră, sîngele țîșnește din ea cu putere. Vasele golite de sînge sînt turtite. Presiunea sîngelui se transmite cu o valoare din ce în ce mai redusă cu cît ne depărtăm de la regiunea de propulsare (inima) spre periferie (capilare). Presiunea maximă din circuit se constată la orificiile ventriculare ale marilor artere, iar minimul de presiune îl găsim la orificiile marilor vene de la baza inimii, unde devine chiar mai mică decît cea atmosferică, adică presiune de aspirație.

Am văzut la studiul legilor hidrodinamicii că rezistența la circulație pe care o întîmpină un lichid este cu atît mai mare cu cît lumenul tubului este mai îngust. Arterele mari și mijlocii, cu un lumen mai mare de 0,1—0,2 mm, opun o rezistență relativ mică circulației sîngelui, deci, aici, cheltuiala de energie pentru învingerea rezistenței hidrodinamice introdusă de frecare nu este mare.

Cînd sîngele intră însă în arterele mici (arteriole), al căror lumen este foarte mic și al căror număr este foarte mare, suprafețele interne ale pereților arteriolelor sînt mult mai mari decît la arterele mari, așa că învingerea fricării este posibilă numai prin cheltuirea unei mari părți a energiei transmise sîngelui de către lucrul mecanic făcut de inimă. În regiunea arteriolelor are deci loc o cădere bruscă a presiunii arteriale.

Presiunea sîngelui, care este în medie de 120—130 de torri în aortă (la un om adult, sănătos) și se micșorează foarte puțin în trunchiurile mari arteriale, ajungînd la 100—120 de torri în carotidă, jugulară, femorală, radială, ajunge în arterele mici la 70—90 de torri. Trecînd prin arteriole și învingînd rezistența lor, sîngele circulă în capilare cu o presiune de 10—30 de torri.

În vene, fenomenul întâlnit în arborele arterial se petrece în sens invers, deoarece pe parcursul dintre capilare și inimă lumenul total se micșorează mereu, viteza de circulație în vene crește pe măsură ce sângele se apropie de inimă. Presiunea scade între capilare și inimă. În venele mari ale extremităților, presiunea variază între 10—12 și 2—5 torri, în venele mari ale cavității toracice și foarte adesea în venele mari ale capului, gâtului etc., presiunea este sub cea atmosferică. Fenomenele biologice în legătură cu această presiune negativă vor fi examinate la studiul mecanicii respirației.

Dacă se produce o dilatare patologică a unei artere (anevrism), presiunea în acel loc se mărește, după legea lui Bernoulli, și sângele exercită o apăsare mărită asupra locului lezat, putând duce la ruptura anevrismului, unde țesutul este în orice caz mai puțin rezistent; se provoacă astfel o hemoragie internă, cu consecințe foarte grave.

Presiunea mai depinde de fluiditatea sângelui, adică de viscozitatea lui. Raportul direct dintre viscozitate și presiunea de curgere a fost stabilit de Poiseuille și se va studia în capitolul care tratează despre dinamica capilarelor.

Asupra circulației influențează și gravitația. În poziția verticală a corpului, circulația venoasă este influențată de gravitație. În circulația arterială, această influență nu este prea resimțită, deoarece presiunea arterială este foarte mare în raport cu greutatea coloanei de sânge. Pentru întoarcerea sângelui la inimă trebuie însă învinsă, în partea corpului de mai jos de inimă, forța gravitației, egală cu greutatea coloanei de sânge dintr-un vas venos, pe verticală, până la inimă. Structura venelor contribuie la compensarea efectului acestei influențe a gravitației.

La măsurătorile de presiune venoasă, pentru a înlătura influența gravitației asupra acestei presiuni trebuie să lucrăm în condiții de așezare a venelor la același nivel cu inima; astfel, pentru măsurarea presiunii venoase din regiunea cotului mâna trebuie ținută întinsă orizontal, la nivelul inimii.

c) **Măsurarea directă a presiunii arteriale.** O determinare precisă a presiunii arteriale nu se poate face decât direct, prin secționarea vasului și intercalarea, în circuitul sanguin, a unui manometru. Această metodă permite să nu se întrerupă circulația și să nu se modifice rezistențele hemodinamice de pe traiectul circulator. Legând cele două capete ale vasului secționat cu două din cele trei ramuri ale unei canule în formă de T, punem în legătură a treia ramură cu un manometru cu mercur prin mijlocirea unui lichid anticoagulant. Metoda se aplică numai la animale. Această metodă servește la determinarea presiunii în arterele de diferite calibre. Presiunea sângelui în artere se mai poate măsura, în mod direct, pe animal, cu ajutorul unui manometru cu aer liber. Se secționează o arteră mare și se leagă în segmentul dinspre inimă un tub de sticlă de diametrul arterei. Ținând tubul vertical, sângele se urcă în ele până la o înălțime de aproximativ 2 m. Această coloană de sânge reprezintă presiunea unei coloane de mercur de 13—15 cm (130 — 150 de torri). Valoarea presiunii maxime în vasele mari este foarte apropiată de cea ventriculară în momentul sistolei. La cal, presiunea maximă este de cca. 180 de torri, iar cea minimă de 110 torri. La ciine, maxima este de 150, iar minima de 100 de torri.

La omul normal adult se admite prin analogie că presiunea sistolică este de aproximativ 150 de torri, iar cea diastolică de aproximativ 70 de torri. Determinarea se face însă pe calea indirectă, descrisă mai departe.

d) **Măsurarea presiunii arteriale la om.** Presiunea arterială, numită în mod curent și impropriu *tensiune arterială*, este una dintre cele mai importante mărimi pentru controlul și diagnosticul tulburărilor în funcționarea

aparaturii cardio-vascular. În cazuri normale, presiunea arterială variază în limite restrinse; în cazuri patologice, limitele sînt mai largi.

Metodele de măsurare a presiunii arteriale la om trebuie să fie astfel alcătuite încît să nu provoace un traumatism, ca în procedeele directe, folosite la determinările pe animale. În practica medicală, neputîndu-se măsura variațiile de presiune, se determină curent numai presiunea maximă și cea minimă.

Principiul metodei folosite pentru a determina presiunea arterială constă în echilibrarea acesteia cu ajutorul unei presiuni exterioare. Aceasta se realizează exercitînd o compresiune prin țesuturi asupra unei artere care trece peste un plan rezistent; compresiunea se exercită pînă ce se oprește circulația în acel loc. Admițînd că presiunea arterială a fost învinsă de o presiune exterioară cu foarte puțin superioară, putem să măsurăm cu ajutorul unui manometru presiunea exterioară necesară pentru a opri circulația singelui în artera comprimată și să considerăm, fără prea mare eroare, că presiunea exterioară citită la manometru reprezintă presiunea sistolică a singelui în artera comprimată.

Procedeele de măsurare a presiunii arteriale diferă prin modul de determinare a momentului în care a fost întreruptă circulația în vasul comprimat.

Aparatele de măsurat presiunea arterială se numesc în general *sfigmomanometre*; ele sînt cunoscute și sub numele de *aparate de tensiune*, *tonometre*, *sfigmometre*. Aparatele pentru măsurarea presiunii arteriale sînt formate dintre-un manometru metalic sau cu mercur, pus în legătură cu o manșetă (brasardă) de cauciuc lată de 5—8 cm și îmbrăcată în pînză; această brasardă se fixează pe braț, cu ajutorul unei cataramă, în dreptul arterei humerale. Cu o pompă de cauciuc se introduce aer în manșeta de cauciuc, pînă ce aceasta, comprimînd artera, oprește pulsul. În acel moment, presiunea din brasardă, citită la manometrul aparatului, reprezintă presiunea maximă.

Măsurarea presiunii minime se efectuează folosind o serie de observații făcute de diverși cercetători și care vor fi relatate la descrierea diferitelor metode.

Pentru a sesiza mai precis momentul încetării pulsului se pompează aer în exces în manșetă, pînă ce nu se mai simte sau nu se mai aude pulsul; apoi se decomprimă, deschizînd treptat ventilul de evacuare și lăsînd să iasă aer din brasardă pînă ce re apare pulsul. Acest moment trebuie sesizat cu precizie.

Pentru determinarea presiunii arteriale, pe calea indirectă arătată, sînt folosite astăzi în clinică mai multe metode:

- metoda oscilometrică (*Pachon*);
- metoda auscultatorie (*Korotkov*);
- metoda palpatorie (*Riva-Rocci*);
- metode mixte, alcătuite din elemente din celelalte metode (*Vaquez-Laubry* ș.a.).

Vom examina succint fenomenele fizice și determinările fizice care se fac pentru măsurarea presiunii arteriale prin diferitele metode menționate.

Metoda oscilometrică. În această metodă, cînd facem decomprimarea, adică evacuarea surplusului de aer introdus cu ajutorul pompei de compresiune, în momentul cînd singele reîncepe să circule prin artera comprimată, se observă oscilațiile acului indicator al manometrului; poziția maximă a acestui ac indică presiunea arterială maximă (sistolică). Sensibilitatea aparatului se micșorează cînd presiunea exercitată asupra membranei elastice a manometrului crește. Pentru a remedia această micșorare de sensibilitate, Pachon dispune membrana manometrică astfel încît presiunea

aerului să fie exercitată, și din afară, și dinăuntru cu aceeași intensitate (fig. 88). Membrana metalică subțire, ondulată, cu suprafață mare, a manometrului, suportă aceeași presiune pe ambele fețe; ea face ca acul indicator să oscileze numai sub influența presiunii arteriale.

Pentru a determina presiunea maximă, se comprimă aer în manșetă, cu pompa *P*, astfel încît să întrecă presiunea arterială; apoi se decomprimă treptat, deschizînd robinetul de evacuare cu ajutorul șurubului *v* și din timp în timp se strînge șurubul *s*, pentru a împiedica trecerea aerului în cutia manometrică și a observa numai oscilațiile datorite presiunii singelui; se poate astfel aprecia amplitudinea mișcării acului în condiții de sensibilitate maximă și constantă.

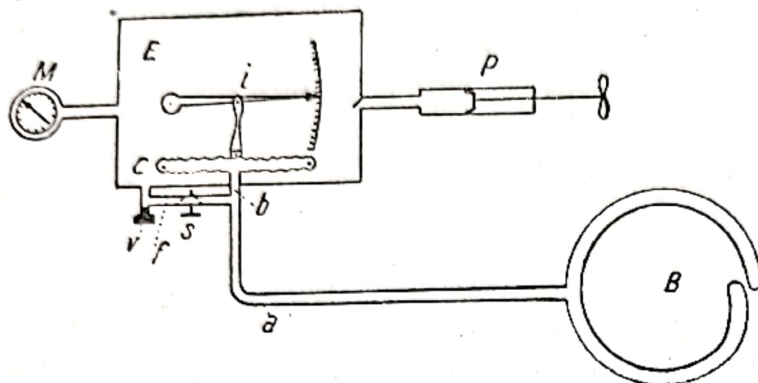


Fig. 88 — Oscilometrul Pachon (schemă).

Pentru determinarea presiunii minime (diastolică) se folosește teoria elaborată de Marey pe baza unei observații îndelungate. Se consideră cele două cazuri extreme, și anume: o arteră, supusă unei compresiuni inferioare presiunii arteriale minime, suferă variații de volum mici,

datorite expansiunii elastice a pereților; cînd comprimarea este superioară presiunii arteriale maxime, artera se turtește complet, fără să prezinte nici o oscilație. Dacă însă se exercită compresiuni intermediare, variațiile de volum ale arterei vor fi cele mai ample: artera (turtită în timpul diastolei prin presiunea exterioară ceva mai mare decît presiunea arterială minimă) se destinde în momentul sistolei, cînd presiunea exterioară este mai mică decît presiunea arterială maximă. Amplitudinea oscilațiilor va trece deci printr-un maximum, cînd compresiunea va fi ceva mai mare decît presiunea arterială minimă; variațiile de calibru ale arterei vor fi în acel moment cele mai mari, din cauza extinderii elastice a pereților arterei, care se va adăuga fenomenului de revenire a arterei ce fusese turtită.

Observînd oscilațiile arteriale în condițiile de sensibilitate constantă ale aparatului Pachon, se constată, în cursul decompresiei arterei, că oscilațiile se măresc, trec printr-un maximum, și se micșorează apoi pînă la un minimum de amplitudine (fig. 89).

După teoria lui Marey, presiunea arterială minimă are valoarea comprimării care dă cele mai puternice oscilații. În realitate, o serie de factori secundari se suprapun fenomenului examinat. Pe de o parte, presiunea externă trebuie să depășească multă vreme presiunea singelui în arteră pentru ca aceasta să aibă timp să se golească complet. Pe de altă parte, manșeta compresoare exercită asupra arterei, numai în mij-

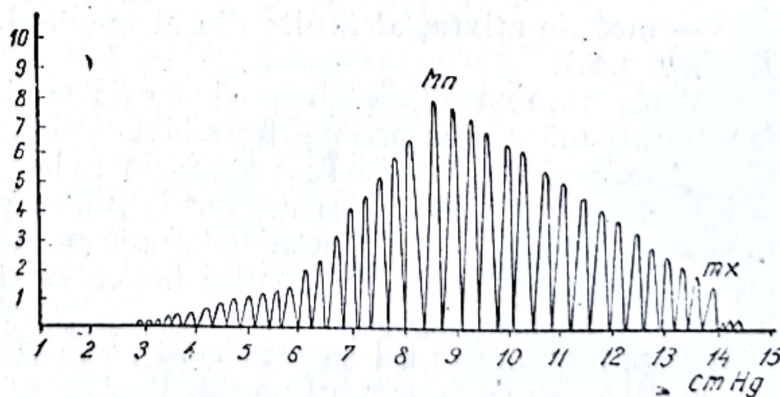


Fig. 89 — Curba oscilometrică.

locul ei, presiunea citită la manometru; în regiunile periferice, comprimarea reală este mai mică decât cea indicată de manometru.

Oscilațiile maxime corespund unei presiuni externe superioare presiunii minime. De aceea, se consideră în general minima pe partea descendentă a graficului care reprezintă amplitudinile oscilațiilor, și anume, în regiunea unde oscilațiile încep a descrește încet.

Metoda auscultatorie. În această metodă, comprimarea arterei se face cu un aparat similar celui descris mai înainte, format dintr-o manșetă (brasardă) de cauciuc învelită în pânză inextensibilă. Se pompează aer cu ajutorul unei pompe de cauciuc și se citește presiunea pe un manometru metalic sau cu mercur.

Momentul în care curentul sanguin încetează de a trece prin arteră se prinde cu ajutorul unui stetoscop biauricular sau al unui fonendoscop așezat pe arteră, imediat sub manșeta aparatului. Brasarda, fiind umflată la o presiune mai mare decât cea arterială, oprește cursul singelui; decompimarea se face deschizând treptat robinetul de descărcare, cu ajutorul unui șurub, și se citește presiunea maximă în momentul când se aude din nou primul zgomot. Trebuie să ne oprim puțin asupra acestor zgomote, numite și *zgomotele lui Korotkov*, fiindcă de sezișarea lor justă depinde o bună determinare a presiunii arteriale.

Dacă în timpul introducerii aerului în manșeta care comprimă brațul așezăm stetoscopul în regiunea unei artere aflate imediat sub piele, în special în fosa cubitală, vom auzi în stetoscop zgomote caracteristice, care apar spontan și se accentuează la un anumit grad de comprimare a arterei; de îndată ce mărim însă cât de puțin această comprimare, zgomotele dispar.

În general, zgomotele apar când presiunea este de 60 — 70 torri în manșetă și dispar la o presiune de 100 — 120 de torri. Aceste fenomene au fost descoperite în 1905 de clinicianul Korotkov din Petersburg. El a stabilit că apariția zgomotelor are loc când presiunea exterioară, în manșetă, este aproximativ egală cu valoarea presiunii diastolice din arteră. Dispariția lor totală se observă când presiunea în manșetă este egală cu presiunea sistolică din arteră.

Apariția acestor zgomote nu depinde numai de valoarea presiunii arteriale, dar și de tonusul peretelui arterial.

O altă metodă auscultatorie, curentă în practică, folosește aparatul Vaquez-Laubry (fig. 90).

Metoda palpatorie. Aparatul este construit la fel ca pentru celelalte metode. Se controlează, palpând pulsul, dacă singele circulă sau nu prin artere și se iau drept valori maxime indicațiile manometrului care corespund momentului în care pulsul nu mai este perceptibil. Metoda palpatorie este cea mai veche; ea a fost folosită de Potain și de Riva-Rocci și poartă numele acesta din urmă. Această metodă arată numai presiunea arterială maximă (sistolică). Datorită elasticității arteriale, valoarea reală a acestei presiuni este însă cu 10 torri mai mare decât cea măsurată la manometru (fig. 91).

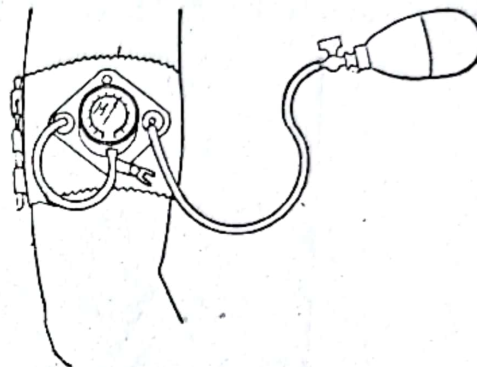


Fig. 90 — Aparatul Vaquez-Laubry (stetoscopul nu este redat în figură).

Iată câteva cifre pentru presiunea maximă la om:

în aortă	130 torri	= 13 cm Hg
în radială	120 torri	= 12 cm Hg
în arterele mijlocii	90 torri	= 9 cm Hg
în arteriole.....	60 torri	= 6 cm Hg
în capilare	10—30 torri	= 1—3 cm Hg

Verificarea relației dintre maximă și minimă se poate face cu următoarea formulă empirică:

$$\text{Presiunea minimă} = \frac{\text{Presiunea maximă}}{2} + 1 \dots 2$$

În practică, presiunea arterială se măsoară în cm coloană Hg.

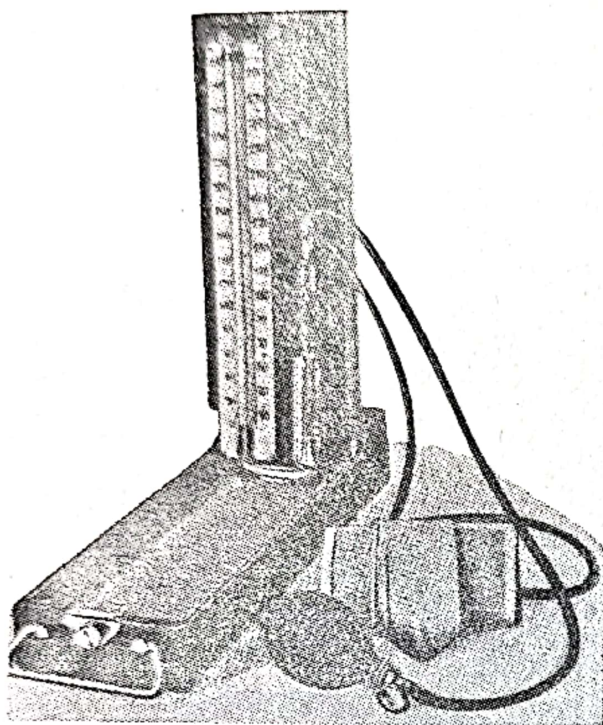


Fig. 91 — Aparatul Riva-Rocci pentru măsurarea presiunii arteriale. .

Presiunea medie. După autorii sovietici, presiunea minimă citită la oscilometrul Pachon este presiunea medie a sîngelui în arteră. Presiunea medie fiind o caracteristică importantă a circulației, determinarea ei capătă o importanță tot mai mare în clinică. Cercetările au stabilit că valoarea presiunii medii este cu mult mai stabilă decît cea a presiunilor sistolice și diastolice.

c) *Viteza sîngelui.* Studiul vitezei sîngelui prezintă importanță fiindcă nutriția organelor depinde direct de cantitatea de sînge care le irigă, iar cantitatea este în funcție de debit și viteză. Deplasarea masei sanguine sub impulsul contracției sistolice se face cu o anumită viteză. Aceasta variază în artere, vene și capilare.

Pentru a măsura viteza sîngelui trebuie să se secționeze vasul și să se intercaleze un aparat de măsurat (contor). Metoda se aplică deci

numai la studiul circulației pe animale. Ea poate fi aplicată în două feluri: în unul din procedee se măsoară cantitatea de sînge debitată într-un anumit interval de timp, ceea ce ne arată viteza medie; în alt procedeu se determină valoarea vitezei în fiecare moment, ceea ce permite să se urmărească variațiile vitezei.

Viteza medie a sîngelui se măsoară de obicei cu un aparat numit *contorul lui Ludwig* (fig. 92). Acest aparat se compune din două balonașe de sticlă (*U* și *S*), de volum egal, care comunică între ele prin partea superioară. În partea de jos, aceste două balonașe sînt în legătură cu două tuburi (*a* și *b*) care pot fi intercalate între capetele vasului secționat. Dispozitivul *R* permite rotirea rapidă și substituirea vaselor *U* și *S* între ele, partea de jos rămînd imobilă. Tehnica măsurătorii este ingenioasă. Se umple ramura *U* cu ulei și ramura *S* cu soluție de clorură de sodiu 9‰. Intercalînd aparatul în artera secționată, sîngele intră în balonașul *U*, împinge uleiul, iar acesta împinge soluția de clorură de sodiu care intră în arteră. Cînd partea *U* este plină cu sînge și partea *S* plină cu ulei, se dă

o rotație rapidă, de 180° , părții superioare, așa că uleiul se află din nou în partea de unde vine singele animalului, și operația se repetă; de astă dată nu mai intră însă din aparat în arteră soluție de clorură de sodiu, ci chiar singele animalului, după ce a trecut prin contorul de sînge. După capacitatea contorului, numărul de operații făcute și timpul în care s-au făcut aceste operații, se calculează cantitatea de sînge care a trecut prin aparat; cunoscînd diametrul mijlociu al vasului se calculează viteza singelui.

Viteza instantanee a singelui se măsoară cu ajutorul unui aparat de tipul *hemodromografului* lui *Chauveau* (fig. 93). Acesta este alcătuit dintr-un tub *C* care se intercalează pe traiectul unei artere. Singele lovește, în trecerea sa, o mică paletă care străbate prin membrana de cauciuc *mc* și acționează un tambur Marey *TE*. Tamburul receptor *TI* înregistrează curba vitezelor pe un cilindru care se rotește.

În loc de a se înregistra viteza singelui, ea poate fi citită pe un cadran gradat, în fiecare moment, după indicațiile unui ac legat de paletă; aparatul se numește *hemodromometru* (fig. 94).

Chauveau a găsit [pe această cale că, în carotida calului, viteza atinge, în momentul contracției ventriculare, 52 cm/s.

Contorul termoelectric al lui Rein (fig. 95). O metodă mai perfecționată de măsurare a vitezei singelui este metoda termoelectrică a lui *Rein* (1929). Această metodă nu cere secționarea vasului, ci permite determinarea cantității de sînge care trece într-un anumit interval de timp printr-un vas închis. Trecînd, cu ajutorul electrozilor *H* și *H*₁, un curent de înaltă frecvență printr-un vas sanguin, singele din vas se încălzește în regiunea străbătută de curentul electric. Temperatura singelui în regiunea arătată punctat în figură se va ridica cu atît mai mult cu cît va trece mai puțin sînge prin vas.

Oscilațiile de temperatură se determină cu ajutorul unui termocuplu, a cărui sudură *L*₁ este rece și *L*₂ este caldă; oscilațiile sînt redade de galvanometrul *G*. Cunoscînd temperatura singelui în regiunea încălzită prin curenții de înaltă frecvență, este ușor de determinat calibrul vasului și cantitatea de sînge care trece prin el în unitatea de timp.

Devierile oglinzii galvanometrului din circuitul termoelectric se pot înregistra fotografic pe un film în mișcare. Se obține astfel o curbă care reprezintă în orice moment viteza de circulație a singelui. Inerția foarte mică a aparatului permite aprecierea variațiilor de viteză în intervale foarte scurte, de exemplu, în timpul diferitelor faze de activitate din ciclul cardiac.

Acest aparat posedă avantajul că poate fi întrebuințat la animalul neanesteziat, în diferite condiții normale de regim de irigație: digestie, efort muscular etc.

Astfel s-a putut studia, între altele, debitul arterelor coronare ale inimii. Prin intervenție operatorie s-a introdus aparatul și s-au scos la piele conexiunile pornind de la sudurile elementului termoelectric. După vindecarea plăgii, aceste

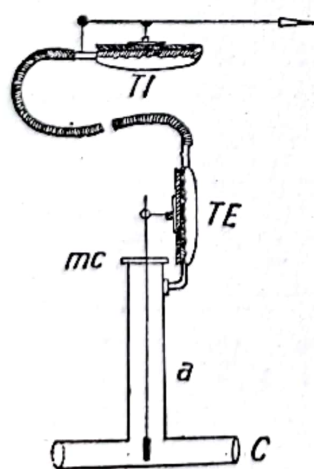


Fig. 93 — Hemodromograf.

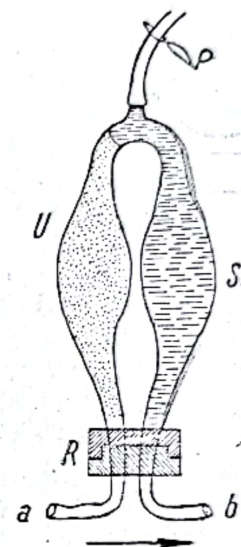


Fig. 92 — Contorul de sînge al lui Ludwig.

conexiuni au fost fixate la galvanometru și debitul a fost studiat și înregistrat la un animal în condiții normale, supus la diferite probe, încercate în experiment *cronic*, fără anestezie, așa cum cere fiziologia pavlovistă.

Plecând de la principiile descrise, au fost construite și numeroase alte aparate care înregistrează viteza singelui; varietatea lor arată că această măsurătoare este destul de dificilă, chiar la animal.

La om, viteza singelui a fost stabilită, în secolul trecut, prin metode indirecte, și acum în urmă prin injectarea unor substanțe fluorescente; în

prezent sînt utilizați pentru acest studiu izotopii radioactivi. S-a stabilit că, la om, viteza singelui este în artere de 40–60 cm/s; în arteriole de 10–30 cm/s, și în capilare de 0,5 mm/s.

S-a constatat cu ajutorul indicatorilor radioactivi artificiali (atomimarcați) că durata unui circuit complet al singelui în corpul omenesc este, în mod normal, la omul adult, de 20–24 secunde, ceea ce corespunde la 25 de sistole și diastole, în medie.

În capilare, viteza este foarte mică, din cauza frecării singelui de

pereții foarte apropiați ai vaselor capilare. Viteza în capilare se poate determina ușor observînd la microscop viteza de trecere a unui eritrocit printr-un capilar într-o regiune transparentă, cum este de exemplu membrana interdigitală a broaștei. Această determinare dă 0,5 mm/s la broască și 0,8 mm/s la mamifere.

Trebuie analizat aici paradoxul aparent al circulației, legat de faptul că singele are la periferie o viteză atît de mică, și totuși reajunge în același interval de timp la inimă pentru a reîncepe ciclul următor. Considerînd cantitatea de singe, iar nu viteza, în arborele circulator, constatăm că

$$Q = q \cdot t, \quad \text{iar } q = s \cdot v,$$

unde s este secțiunea tubului și t timpul necesar reîntoarcerii singelui la inimă. Valoarea lui Q fiind considerată constantă în tot arborele circulator, deoarece singele se reîntoarce în întregime la inimă, urmează că, dacă viteza scade spre periferie, așa cum arată experiența, trebuie să fi crescut secțiunea totală a vaselor. În adevăr, numărul imens de vase capilare, care este, după diverși autori, de 100–160 miliarde în corpul omenesc, are o secțiune totală de atîtea ori mai mare decît lumenul aortei sau al venei pulmonare de cîte ori viteza în aceste vase mari este mai mare decît în capilare.

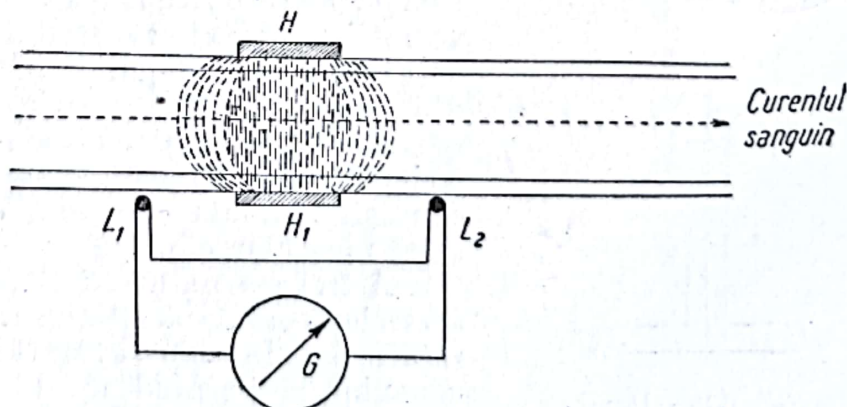


Fig. 95 — Contorul termoelectric al lui Rein.

Această secțiune totală a capilarelor se poate calcula din expresia proporționalității dintre viteză și secțiune la debitul uniform

$$\frac{S_{\text{capilar}}}{S_{\text{arteră}}} = \frac{V_{\text{arteră}}}{V_{\text{capilar}}} = \frac{50 \text{ cm/s}}{0,08 \text{ cm/s}} = 625.$$

Deci, secțiunea totală a capilarelor este de peste 600 de ori mai mare decât secțiunea aortei.

f) **Pulsul.** Sîngele care intră în aortă, în urma contracției ventriculare, izbește coloana de sînge aflată în arborele arterial, și astfel iau naștere vibrații longitudinale. Aceste vibrații se propagă sub formă de unde longitudinale, ca orice mișcare ondulatorie. Pulsul nu este deci o deplasare de sînge, ci un fenomen ondulator, un transport de energie, de deformare elastică. Variația tensiunii sanguine produsă de trecerea undei pulsatile se numește puls.

Legătura dintre deformările elastice longitudinale și variațiile de tensiune transversale din aortă sau din artere, palpate sub formă de puls, se stabilește schematic astfel: într-o porțiune de arteră, șocul exercitat de sîngele care vine din ventricul comprimă stratul ab (fig. 96); lichidul nefiind prea compresibil, variația de dimensiune în direcția ab face ca stratul să ia, în momentul elementar Δt , forma $a'b'$, pe socoteala elasticității peretelui arterial. Forța elastică a arterei deformate recomprimă însă stratul de sînge $a'b'$, deformarea se transmite astfel stratului vecin și fenomenul se propagă deci din aproape în aproape. Se poate verifica aceasta prin dispozitive experimentale foarte simple. Un tub de cauciuc lung de 10 m, terminat la capăt cu o pară de cauciuc, se umple perfect cu apă și extremitatea liberă a tubului se închide cu un clește, formînd astfel un sistem închis. Strîngînd brusc și puternic în mînă para de cauciuc, apa din ea produce șocul asupra apei din tub și astfel apar în tub undele longitudinale. Ținînd mîna în diferitele locuri de pe acest tub, se simte trecerea undei pulsatile, adică dilatarea momentană a tubului și revenirea lui; într-o secundă, unda pulsatilă ajunge de la pară pînă la extremitatea tubului, fără ca lichidul să fi circulat în tub.

Viteza de propagare a pulsului se obține înregistrînd intervalul de timp dintre trecerile lui prin două puncte ale unei artere aflate la o distanță cunoscută. După diferite experiențe, viteza pulsului variază între 5 și 9 m/s. Deși relativ mare, viteza de propagare a pulsului se poate totuși înregistra diferențial în diferitele regiuni ale arborelui arterial. În ceea ce privește raportul dintre viteza pulsului și viteza singelui, se constată că, la deschiderea valvulelor sigmoide, începutul deplasării singelui în aortă coincide cu începutul undei pulsatile; acest sincronism dispăre pe măsura depărtării de inimă, fiindcă viteza pulsului este de 20 de ori mai mare decât viteza singelui în artere, și am văzut că această viteză descrește din ce în ce pînă în capilare.

Palparea arterei dă, la fiecare bătaie a inimii, o senzație caracteristică, datorită deformății elastice transversale a arterei sub influența trecerii undei sanguine, deformare care am văzut că se numește *puls*. Pulsul poate fi înregistrat cu un aparat numit *sfigmograf*.

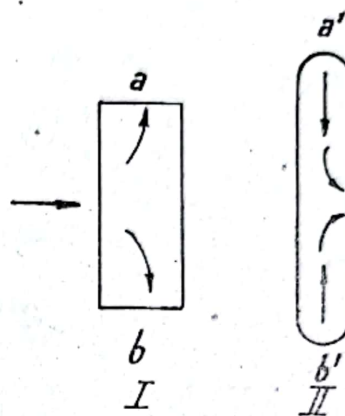
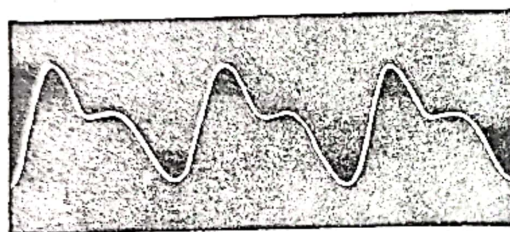
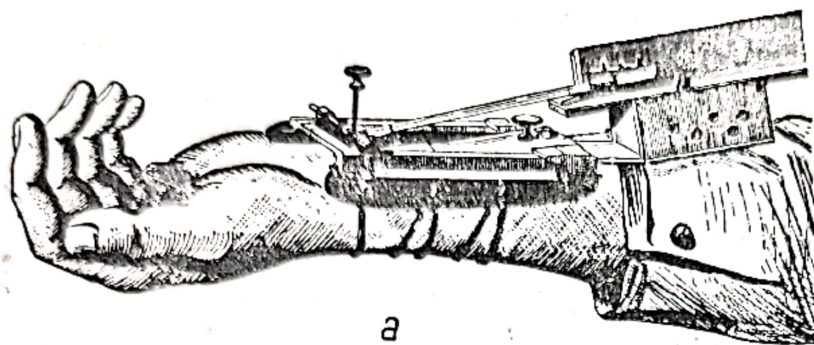


Fig. 96 — Transmiterea longitudinală a deformăției vaselor (pulsul).

În principiu, sfigmografia constă în apăsarea pe arteră a unui buton rigid articulat cu o pîrghie de genul al treilea cu brațul rezistenței foarte lung, astfel că orice ridicare cît de mică a peretelui arterial permite o înscriere vizibilă cu vîrfurile acului înregistrator, fie direct, fie prin mijlocirea unei transmisii (capsulă Marey). Pentru a reda cît mai fidel rezultatele, pîrghia este cît mai ușoară și nu introduce rezistențe străine în măsurarea fenomenului. După trecerea unei pulsatile, butonul revine pe arteră fiind împins de un resort (fig. 97).

Forma curbei este diferită, în funcție de artera pe care o studiem. În general, o sfigmogramă se compune dintr-o serie de ondulații ce se repetă periodic și care corespund unei pulsații. Ondulația începe printr-o ascensiune aproape verticală, care se continuă cu o coborîre mai înceată, și are o inflexiune, numită undă dicrotă a pulsului.



a — sfigmograf; b — sfigmogramă.

Fig. 97

Această undă dicrotă este datorită șocului singelui din aortă asupra valvulelor sigmoide, în momentul în care coborîrea presiunii ventriculare nu mai echilibrează forța elastică a pereților arteriali.

Explorarea grafică a pulsului, deși are aplicații în studiul unor boli de inimă și vase, nu redă fidel amplitudinea pulsației și uneori chiar forma ei, din cauza forței cu care aparatul apasă asupra arterei.

Trebuie să mai arătăm că toate fenomenele hemodinamice studiate aici parțial și separat, din punct de vedere fizic, nu se produc separat ci simultan, avînd loc o permanentă influențare reciprocă, așa că trebuie să se țină seama de interdependența diferitelor fenomene studiate în hemodinamică.

Aplicînd legile hidrodinamicii la circulația sanguină, trebuie să avem permanent în vedere faptul că sistemul circulator este un sistem închis, că în afară de forțele mecanice există și fenomene de osmoză, acțiuni hormonale etc care fac să nu se poată asimila curgerea singelui prin vase unei simple curgeri a unui lichid prin tuburi rigide ori elastice.

IV. MECANICA GAZELOR

A. ÎNSUȘIRILE GENERALE ALE GAZELOR

Gazele sînt substanțe fluide perfect elastice, foarte compresibile. Moleculele gazelor se află între ele la distanțe mari, deci coeziunea intermoleculară este mică. Comparînd greutatea specifică a gazelor, de exemplu a aerului, care este de 1,293 g/litru, cu greutatea specifică a apei, care este

de 1 000 g/l, deci de aproape 800 de ori mai mare, putem presupune că moleculele care alcătuiesc aerul se află între ele la distanțe de aproximativ 800 de ori mai mari decât cele ale apei.

Distanța dintre moleculele de gaz fiind — după calcule — foarte mare față de dimensiunile acestor molecule, permite ca mișcarea permanentă și dezordonată a acestor molecule să se facă mai ușor, deci ca moleculele gazului să fie caracterizate printr-o mobilitate mai mare, și în același timp deplasarea lor să se facă fără o frecare interioară apreciabilă.

Din cauza mobilității mari a moleculelor lor, gazele sînt difuzibile. Astfel, dacă avem într-un vas un gaz, de exemplu hidrogen la presiunea atmosferică, și în alt vas azot la aceeași presiune, și le așezăm astfel ca vasul cu hidrogen să se afle deasupra (fig. 98), deschizînd robinetul de legătură, vom găsi după cîtva timp în ambele vase un amestec uniform de hidrogen și azot.

Aceasta arată că amestecul nu s-a făcut sub influența gravitației, căci azotul, care are densitatea de 14 ori mai mare decât a hidrogenului, a difuzat în vasul de sus, iar hidrogenul a difuzat în vasul de jos.

Presiunea gazelor. Moleculele de gaz ciocnesc pereții vasului în care sînt cuprinse; aceste ciocniri constituie presiunea pe care gazul o exercită normal pe orice suprafață întilnită de molecule. În ciocnirile intermoleculare ale gazelor, cum și în ciocnirile lor cu pereții vasului sau cu obstacolele întilnite în cale, moleculele pot fi asimilate unor sfere perfect elastice, așa că se consideră că ciocnirile au loc fără pierdere de energie cinetică.

Ca și la lichide, unde am văzut că presiunea hidrostatică se datorește apăsării straturilor superioare asupra celor inferioare, la gaze, straturile inferioare suportă și ele presiunea celor de deasupra lor, adică greutatea acestora. Pentru un gaz aflat într-un vas închis, presiunea gazului într-o regiune a masei de gaz este egală cu greutatea coloanei de gaz care are drept bază o suprafață de 1 cm^2 din regiunea considerată și drept înălțime distanța verticală de la această regiune și pînă la peretele care închide vasul în care se află gazul respectiv.

Principiul lui Pascal, studiat la lichide, este valabil și pentru gaze: el arată că, într-un spațiu închis, presiunea exercitată dinafară asupra gazului se transmite în întregime în toate părțile lui.

La fel, principiul lui Arhimede este valabil și pentru gaze: fiecare corp cufundat într-un gaz suferă din partea gazului o presiune de jos în sus egală cu greutatea volumului de gaz dislocuit.

De aceea, greutatea unui corp măsurată într-un gaz este numai o greutate aparentă, adică este numai diferența dintre greutatea reală P și presiunea π exercitată de gaz de jos în sus.

Două corpuri de aceeași greutate, dar de volum foarte diferit (de exemplu, un cub de platină cu latura de 1 cm, care cîntărește $\sim 22 \text{ g}$, și o sferă cu raza de 2,5 cm, confecționată din tablă de aluminiu groasă de 1 mm și plină cu aer, sferă care cîntărește de asemenea $\sim 22 \text{ g}$), își fac echilibru în aer atîrnate fiind de extremitățile pîrghiei unei balanțe cu brațe egale. Dacă însă introducem acest aparat, numit *baroscop*, sub clopotul mașinii pneumatice și scoatem aerul din clopot, constatăm că balanța se

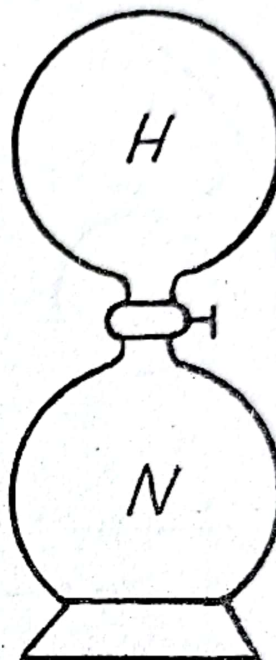


Fig. 98 — Difuzia gazelor.

dezechilibrează și sfera de aluminiu cade în jos, deși, în aer, are aceeași greutate ca și cubul de platină. Aceasta se datorește faptului că, în aer, echilibrul a fost stabilit, nu numai de greutatea corpului, ci și de presiunea aerului de jos în sus, mai mare la corpul cu suprafața mai mare, deci la sfera de aluminiu (fig. 99). În vid, lipsește presiunea pe care o exercită aerul de jos în sus asupra sferei de aluminiu, care are o suprafață $4\pi R^2 = 78,5 \text{ cm}^2$, pe cînd, la cubul de platină, suprafața pe care apăsă aerul, fiind de 6 cm^2 , este neglijabilă față de cea a sferei de aluminiu. Aceasta

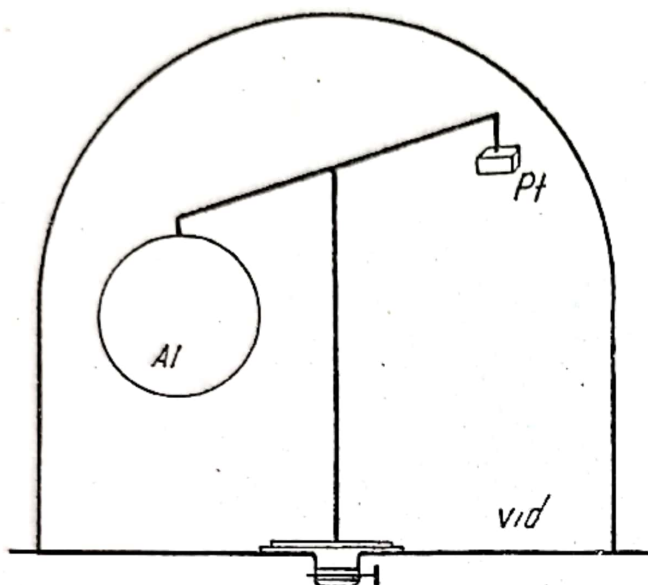


Fig. 99 — Baroscopul.

arată că, la cîntăriri în general, unde greutatea marcată sînt de metal de densitate mare (alamă, nichel, fontă), cîntărirea corpurilor care au volum mare trebuie făcută în aer cu anumite corecții, adică cu reducerea determinărilor la cîntărirea în vid, dacă e vorba de determinări exacte. Dacă corpurile de cîntărit sînt de același ordin de densitate ca și greutatea marcate, corecția nu este necesară.

Gazele au greutate. Aceasta se poate arăta cîntărind pe rînd aer, oxigen, azot și chiar hidrogen, într-un balon de capacitate mare, și cîntărind apoi balonul după ce a fost scos gazul.

Diferența obținută arată greutatea gazului din balon.

B. TEORIA CINETICĂ MOLECULARĂ A GAZELOR

Am arătat că, în condiții normale de temperatură și presiune, moleculele gazelor se află la distanțe reciproce mult mai mari decît dimensiunile moleculelor. În limitele preciziei cerute de calculele necesare, se poate admite că molecula este o particulă, iar gazul poate fi conceput ca o grupă de particule care se mișcă liber. Aceasta permite, în primul rînd, explicarea directă a însușirii gazelor de a se răspîndi în întreg spațiul în care sînt cuprinse și de a difuza unul în altul.

Pentru studiul teoretic al gazelor se mai poate folosi un model simplificat, care reprezintă gazul ca o grupare de molecule sferice, elastice, aflate la distanțe relativ mari între ele, și care se mișcă liber și dezordonat.

Astfel, la azot, a cărui moleculă are masa m de $4,7 \times 10^{-23} \text{ g}$, se calculează că moleculele se mișcă, în medie, în condiții normale, fără ciocniri cu alte molecule, pe o distanță de ordinul 10^{-5} cm , cu o viteză de ordinul 400 m/s .

Daniel Bernoulli a explicat pentru prima oară presiunea gazelor ca fiind datorită ciocnirilor moleculelor de pereții vasului.

În legătură cu mișcarea moleculelor, M. V. Lomonosov a elaborat în 1744 — 1748 teoria atomică moleculară a structurii materiei și a făcut legătura dintre cinetica moleculară și fenomenul termic.

Teoria cinetică moleculară a gazelor a fost dezvoltată în secolul al XIX-lea de o serie de fizicieni, îndeosebi de Clausius, Boltzmann și Maxwell.

Formula de bază a teoriei cinetice a gazelor este:

$$p = \frac{1}{3} n_0 m v^2. \quad (1)$$

Ea arată că presiunea p exercitată de gaz asupra pereților vasului este determinată de numărul n_0 al moleculelor în unitatea de volum, masa m a moleculelor și valoarea medie a pătratului vitezelor lor v .

Dacă înmulțim și împărțim cu 2 membrul din dreapta al expresiei (1) obținem:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \frac{m v^2}{2}, \quad (2)$$

o expresie echivalentă cu (1), în care se scoate în evidență faptul că presiunea gazelor este funcție de energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor.

Introducând în această expresie, în ambii membri, volumul V_0 al unui mol de gaz, expresia devine:

$$p V_0 = \frac{2}{3} n_0 V_0 \frac{m v^2}{2}, \quad (3)$$

și cum $n_0 V_0$ (produsul dintre numărul de molecule în unitatea de volum și volumul inițial) constituie tocmai numărul N de molecule aflate într-un volum molecular, adică numărul lui Avogadro, avem:

$$p V_0 = \frac{2}{3} N \frac{m v^2}{2}, \quad (4)$$

iar din ecuația cunoscută a gazelor perfecte, $p V_0 = RT$, înlocuind produsul $p V_0$ cu valoarea lui din (4), obținem:

$$\frac{2}{3} N \frac{m v^2}{2} = RT. \quad (5)$$

În această relație, lăsând la o parte factorii constanți N și R , observăm că energia cinetică medie $\left(\frac{m v^2}{2}\right)$ a mișcării de translație a moleculelor este funcție numai de temperatura absolută T . Experiența confirmă cele de mai sus: prin încălzirea sau răcirea gazului, adică prin primirea sau cedarea unei anumite cantități de căldură, se modifică energia moleculelor lui.

Tot de aici rezultă că, dacă am putea ajunge la zero absolut, mișcarea de translație a moleculelor s-ar opri complet. În realitate, chiar la temperatura pe care o considerăm practic ca zero absolut, mișcarea internă a materiei nu se oprește în întregime.

La un gaz ideal, energia cinetică a mișcării moleculelor sale determină energia sa internă. Pentru gazul real, energia internă reprezintă suma energiei cinetice a mișcării moleculelor și a energiei lor potențiale. În general, energia cinetică a mișcării moleculelor este dată de energia cinetică a mișcărilor de translație, la care se poate adăuga energia cinetică de rotație și de oscilație a moleculelor.

C. ATMOSFERA

Invelișul gazos care îmbracă Pământul se numește atmosferă. Deși aerul este expansibil, atmosfera nu se împrășteie în spațiu, deoarece aerul, avînd masă și aflîndu-se în cîmpul gravitațional, este atras de Pământ.

1. GROSIMEA ATMOSFEREI

Grosimea atmosferei nu poate fi măsurată direct. Aeronauții sovietici, explorînd atmosfera, au ajuns pînă la 22 km deasupra Pământului. La înălțimi mai mari, fragmente de planetă sfărîmate, care cad în mișcare accelerată spre Pământ, cînd intră în cîmpul de gravitație al acestuia, în căderea lor se freacă de aer, se aprind și, dacă sînt destul de mici, se consumă complet în drum, transformîndu-se în oxizi, care se pulverizează în atmosferă. Ele constituie „stelele căzătoare”, care se observă îndeosebi în luna august. Măsurînd cu aparate telemetrice distanța pînă la o astfel de diră luminoasă de oxizi incandescenti lăsată de steaua căzătoare, se constată că arderea are loc cam la 200 km înălțime. Deci, la 200 km mai există destul aer pentru ca meteoriții să poată să se oxideze și să ardă în el.

În regiunea cuprinsă între poli și cercurile polare se văd deseori fenomene interesante și frumoase, cunoscute sub numele de auroră polară („auroră boreală” în emisfera nordică a pămîntului, „auroră australă” în cea sudică). Perdelele splendide de lumini care se văd deasupra Pământului sînt fenomene asemănătoare descărcărilor electrice în gaze rarefiate (în tuburile luminescente cu hidrogen, heliu, neon, azot etc.).

Prin măsurările telemetrice se determină că fenomenul de luminiscență care constituie aurora polară are loc cam la 800 km înălțime; avem astfel indirect dovada că la această înălțime se mai găsește aer, deși foarte rarefiat. Se poate deci admite în cifră rotundă, că atmosfera are o grosime de aproximativ 1 000 km.

Totuși, ca atmosferă eficientă, în care trăim și pe care o studiem, se consideră un strat de 100 km, concentric cu Pământul.

2. STRUCTURA ATMOSFEREI

Atmosfera se împarte în cîteva straturi distincte, care se deosebesc între ele printr-o serie de caracteristici.

a) **Troposfera** este primul din aceste straturi de aer, pornind de la Pământ. Ea are grosimea medie de 11 km și variază între limite largi (9 — 18 km). În acest strat circulă curenți de aer, ascendenți și descendenți, din cauza contactului aerului cu solul și apele, neegal încălzite de Soare.

b) **Stratosfera** este pătura de aer cuprinsă între 11 și 70 km. Aerul este liniștit, straturile sînt distincte și așezate în ordinea descrescîndă a densității lor. Rezistența aerului fiind mai mică în stratosferă, avioanele pot atinge acolo viteze foarte mari. Stratosfera a fost explorată numai în ultimele 3—4 decenii. Îndeosebi cercetătorii sovietici au adus contribuții foarte importante la cunoașterea stratosferei.

c) **Ionosfera** constituie restul de atmosferă eficientă, pînă la 100 km. Aerul, foarte rar, este puternic ionizat. Ionosfera are importanță în filtrarea radiațiilor solare de razele ultraviolete, care, ajungînd pe Pământ în cantitate mare, ar împiedica dezvoltarea normală a vieții. Tot aici se reflectă undele radiofonice și se reîntorc spre Pământ. Cercetări recente admit că o parte din radiațiile cosmice, torenții de particule provenite din

dezagregarea atomilor, își au originea în ionosferă și vin prin stratosferă și troposferă pe Pământ.

Componența atmosferei, în volum, la nivelul mării, este de aproximativ 20,93% oxigen, 0,03 — 0,04% bioxid de carbon și 79,02% azot și gaze inerte.

3. PRESIUNEA ATMOSFERICĂ

Concepția materialistă despre aer nu datează decît de la Galileu și Newton. Ba multă vreme și după ei, fizicienii idealisti au considerat aerul ca ceva imponderabil, ca o emanație. Determinarea greutății aerului a dus la conceperea lui ca substanță materială, în stare fluidă, și la presupunerea că aerul trebuie să exercite și o presiune asupra corpurilor. În adevăr, datorită atracției gravitației, atmosfera exercită o presiune asupra corpurilor cu care aerul vine în contact. În virtutea principiului lui Pascal, această presiune se exercită în toate direcțiile. În adevăr, dacă avem o membrană foarte flexibilă, ea nu se deformează în aer din cauză că presiunea atmosferică se exercită în mod egal pe ambele fețe ale membranei, oricum ar fi orientată aceasta. Numai dacă o astfel de membrană alcătuiește peretele unui vas din care s-a scos aerul, presiunea atmosferică nemăfiind echilibrată, membrana se îndoaie și se poate chiar rupe sub acțiunea presiunii atmosferice.

Presiunea exercitată de aer pe 1 cm^2 din suprafața Pământului se numește presiune atmosferică.

Pascal a arătat, în secolul al XVII-lea, că atmosfera ține în echilibru, într-un tub închis la un capăt, o coloană de apă care în unitățile de măsură de astăzi este înaltă de 10,33 m, la suprafața mării, pe timp frumos și liniștit.

Torricelli (1643) a arătat că atmosfera ține în echilibru, în aceleași condiții descrise mai sus, o coloană de mercur înaltă de 760 mm.

Experiența se poate repeta cu orice alt lichid. Se constată că o coloană din orice lichid, ținută în echilibru de presiunea atmosferică, are greutatea de 1033 g/cm^2 .

În sistemul CGS, presiunea de 1033 g , la latitudinea țării noastre (unde accelerația gravitației este de $\sim 980 \text{ cm/s}^2$), valorează $1\,013\,000$ dine; cum presiunea de 1 dină/cm^2 alcătuiește unitatea derivată numită *barie*, presiunea atmosferică normală este de $1,013 \text{ magadine/cm}^2$, adică $1,013 \text{ megabarii}$. În meteorologie, megabaria se notează *bar*. Deci, presiunea atmosferică normală este de $1\,013$ milibari.

În tehnică se folosește drept unitate de presiune atmosfera tehnică, care valorează $1\,000 \text{ g/cm}^2$.

În cercetările științifice presiunea atmosferică se exprimă în mm coloană de mercur, presiunea de 1 mm mercur purtînd numele de *torr* (după numele lui Torricelli) și avînd valoarea de $1/760 \text{ atm}$; pentru valori mai mici această presiune se exprimă în cm coloană de apă, fiecare cm de apă avînd valoarea de $1/1033 \text{ atm}$.

Presiunea atmosferică variază cu altitudinea și cu compoziția atmosferei, la un moment dat. Pe munte sau în avion, stratul de aer care apasă este mai subțire decît la malul mării, iar aerul care apasă este mai puțin dens. Presiunea este deci cu atît mai redusă cu cît ne urcăm în atmosferă. Astfel, la $2\,150 \text{ m}$ altitudine, presiunea este de 580 mm Hg , la $5\,200 \text{ m}$ ea este de numai 400 mm Hg , adică ceva mai mult de jumătate atmosferă, iar la $10\,500 \text{ m}$ înălțime, presiunea atmosferică este de numai 250

mm Hg. Dacă atmosfera este saturată cu vapori de apă, care sînt mai puțin denși decît aerul, presiunea atmosferică este mai mică.

Presiunea atmosferică se măsoară cu ajutorul barometrelor. Acestea sînt instrumente construite pe principiul tubului lui Torricelli și au drept lichid barometric mercurul, care, fiind foarte dens, permite folosirea unui tub de cca. 85 cm. Barometrele metalice au formă de cutioară de tablă foarte subțire sau formă de inel (aneroide), din care s-a scos aerul și pe care atmosfera, apăsînd, le deformează, punînd în mișcare, printr-un sistem de pîrghii, un ac indicator. Barometrele metalice se gradează prin comparație cu barometrele cu mercur.

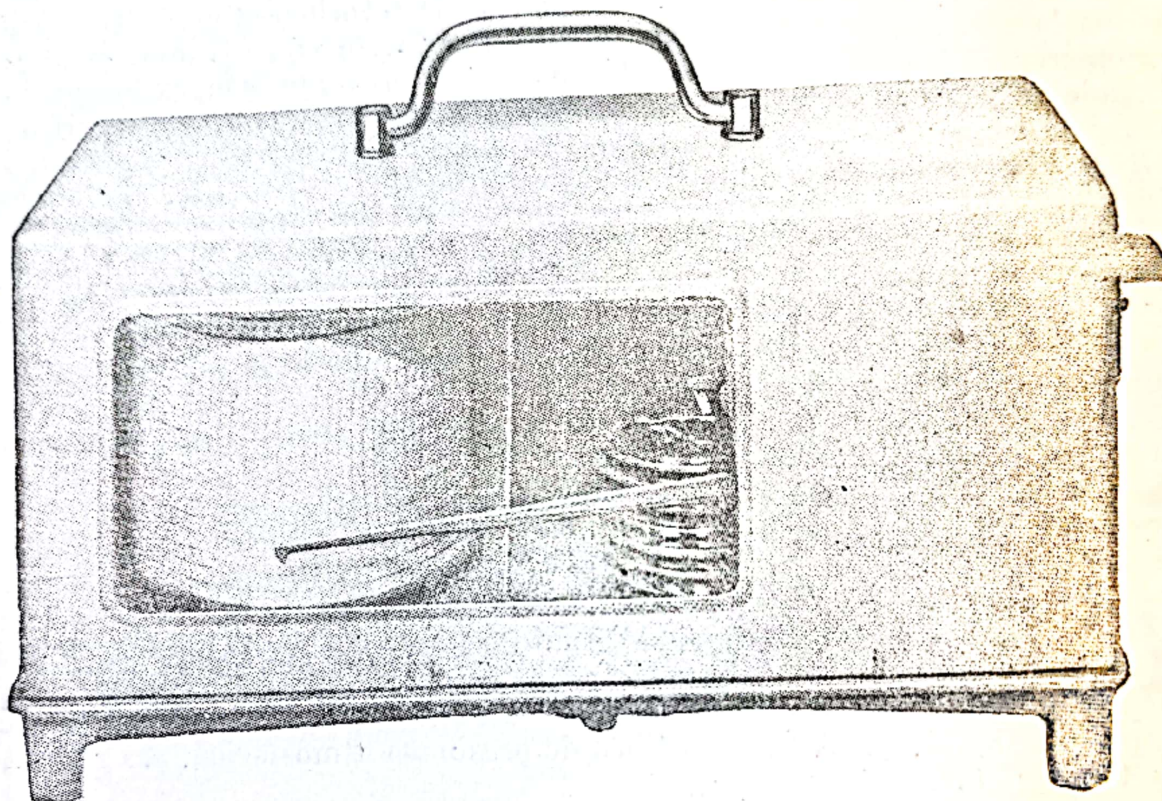


Fig. 100 — Barometru înregistrator (barograf).

În meteorologie se folosesc și barometre înregistratoare sau barografe (fig. 100).

În aviație se întrebuițează altimetre, care sînt gradate, nu pentru presiunea atmosferică, ci direct pentru înălțimile corespunzătoare presiunii respective.

D. LEGILE GAZELOR

O cantitate de gaz este caracterizată prin patru mărimi fizice: masa (m), volumul pe care-l ocupă (V), presiunea (p) și temperatura (t). Aceste mărimi sînt interdependente la o cantitate de gaz. Formula care exprimă aceste legături, în anumite cazuri, se numește *ecuație de stare*.

Legile gazelor arată legătura dintre diferiții parametri ai gazelor. Ele sînt legi experimentale. Unele din ele sînt mai simple, fiindcă arată legătura dintre două sau trei din cele patru mărimi, celelalte fiind considerate constante.

1. LEGEA BOYLE-MARIOTTE

Pentru o masă anumită de gaz, menținută la o temperatură constantă (deci m și t constante), volumul pe care-l ocupă gazul variază în raport invers cu presiunea ce se exercită asupra lui:

$$pV = \text{const.} \quad (1)$$

Legea Boyle-Mariotte este aproximativă, deoarece a fost formulată pe baza unor determinări făcute cu o precizie mică și între limite nu prea mari. Dacă măsurătorile se fac cu multă precizie, așa cum permit actualele aparate perfecționate de măsurat, se observă devieri de la această lege; la fel, dacă se lucrează la presiuni foarte mari, se constată devieri mult mai mari de la această lege decât la presiuni mici, unde devierile sînt neglijabile. Experiența arată că, la presiuni foarte mari, gazele se comprimă mai puțin pentru fiecare unitate de presiune decât prevede legea Boyle-Mariotte. La temperaturile obișnuite, la care se lucrează, și la presiuni apropiate de cea atmosferică, majoritatea gazelor urmează legea Boyle-Mariotte cu o precizie suficientă unor aplicații curente.

Legea Boyle-Mariotte este o lege izotermă, fiindcă variația volumului cu presiunea se face la temperatură constantă.

Această lege se aplică ori de cîte ori avem de manipulat gaze pe care, din cauza lipsei de volum și de formă proprie, nu le putem manipula ca pe corpurile solide sau lichide. Gazele utilizate în tehnică: oxigenul, hidrogenul, acetilena, gazele necesare în industria alimentară (bioxidul de carbon), cele necesare în transporturi și industria construcțiilor (aer comprimat), protoxidul de azot pentru narcoză, precum și oxigenul, bioxidul de carbon, amestecul de $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ (carbogen), necesare în clinică, se păstrează în cilindri de oțel. Acești cilindri au pereții foarte rezistenți, întrucît comprimînd volume mari de gaz în cilindri de capacitate mică, gazul se află în acești cilindri sub presiune mare, așa cum se poate citi la manometrul cilindrului. Manipularea robinetelor acestor cilindri cere o deosebită atenție, fiindcă, la ieșire bruscă, gazul comprimat dezvoltă o forță elastică considerabilă. Această forță elastică este utilizată la frinele cu aer comprimat, la compresorul care acționează aparatele de tăiat betonul, cărbunii, asfaltul și diferite roci. Dacă robinetele sînt manipulate fără grijă, se pot produce accidente.

2. LEGEA LUI GAY-LUSSAC

Această lege arată dependența volumului și presiunii unui gaz de temperatura la care se lucrează. Ea consideră dependența pentru fiecare din cei doi parametri în parte.

a) Prin încălzirea unei mase date de gaz, într-un vas deschis, adică menținînd presiunea constantă, volumul ei variază liniar cu temperatura

$$V_t = V_0 (1 + \alpha_v t). \quad (1)$$

b) Dacă încălzim o anumită masă de gaz într-un vas închis, deci sub volum constant, presiunea acestui gaz variază liniar cu temperatura:

$$p_t = p_0 (1 + \alpha_p t). \quad (2)$$

Pentru toate gazele, coeficienții α_p și α_v au valoarea $1/273,13$ grade, variațiile acestor coeficienți între ei și pentru diferitele intervale de temperatură fiind foarte mici.

3. LEGEA LUI AVOGADRO

Avogadro a emis ipoteza că volume egale din orice gaz, luate în aceleași condiții de temperatură și presiune, conțin același număr de molecule. Cum greutatea moleculară a gazelor se determină cu ajutorul raportului dintre greutatea unor volume egale de gaz, s-a formulat legea lui Avogadro astfel: o moleculă-gram de orice fel de gaz, în condiții egale de presiune și temperatură, ocupă același volum.

La temperatura de 0° și la presiunea 760 mm Hg, volumul ocupat de o moleculă-gram de orice gaz este de 22,41 litri. Acest volum $V_0 = 22,41$ l/mol se numește volum molecular. El conține un număr N de molecule gazease. Acest număr N se numește *numărul lui Avogadro* și are următoarea valoare:

$$N = 6,06 \times 10^{23} \text{ molecule.}$$

De aici rezultă că în 1 ml se află $1/22\,410$ din numărul lui Avogadro, deci $n_0 = 2,683 \times 10^{19}$ molecule.

Numărul n_0 se numește *numărul lui Loschmidt*.

4. ECUAȚIA DE STARE A GAZELOR PERFECTE

Cu ajutorul celor trei legi enunțate pînă acum: legea Boyle-Mariotte, legea lui Gay-Lussac și legea lui Avogadro se poate stabili ecuația de stare a gazelor perfecte.

a) **Gaze perfecte.** Gazele care s-ar supune cu precizie legilor Boyle-Mariotte și Gay-Lussac, adică s-ar caracteriza prin

$$\alpha_p = \alpha_v = \frac{1}{273,13},$$

se numesc *gaze perfecte* sau *gaze ideale*. Ele ar avea proprietăți mai mult sau mai puțin apropiate de cele ale gazelor reale.

b) **Zero absolut.** Coeficientul $\alpha_v = \frac{1}{273,13}$ pentru gazul perfect arată că la fiecare coborîre a temperaturii cu un grad C, volumul gazului se micșorează cu $1/273,13$ din volumul pe care îl are la 0°C . Ar urma de aici că, dacă am reuși să atingem temperatura de $-273,13^\circ\text{C}$, volumul gazului s-ar reduce la zero. Această concluzie nu este corectă, fiindcă orice gaz se licheface și se solidifică înainte de a atinge această temperatură $t = -273,13^\circ\text{C}$. Cu toate acestea, temperatura teoretică de $-273,13^\circ\text{C}$ a fost numită *zero absolut*. Am arătat că scara termometrică centigradă care în loc să înceapă de la topirea gheții, începe de la zero absolut se numește *scara temperaturilor absolute* sau *scara Kelvin*, iar gradele se numesc *grade absolute* sau *grade Kelvin*, și se notează $^\circ\text{K}$ (de pildă, dacă $t = 20^\circ\text{C}$, $T = 293,13^\circ\text{K}$).

c) **Formula Mendeleev-Clapeyron.** O masă de gaz care are la 0°C volumul V_0 și presiunea p_0 este supusă unei presiuni p tot la 0° ; în acest caz, volumul gazului va deveni V' . După legea lui Boyle-Mariotte, avem:

$$V' p = V_0 p_0,$$

de unde

$$V' = \frac{V_0 p_0}{p}. \quad (1)$$

Încălzind gazul la temperatura t , sub presiunea constantă, volumul lui va deveni V și vom avea:

$$V = V' (1 + \alpha t). \quad (2)$$

Înlocuind în această expresie (2) pe V' cu valoarea lui din (1), obținem:

$$V = \frac{V_0 p_0}{p} (1 + \alpha t)$$

sau:

$$Vp = V_0 p_0 (1 + \alpha t). \quad (3)$$

Pe de altă parte, pornind de la zero absolut și folosind temperaturile absolute T , se demonstrează că:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2},$$

de unde urmează că, în schimbările care au loc într-o masă de gaz, raportul dintre produsul pV și temperatura absolută T rămâne constant; se poate deci scrie:

$$\frac{pV}{T} = B. \quad (4)$$

Această ecuație a fost dedusă la 1834 de Clapeyron.

Valoarea numerică a constantei B din expresia (4) depinde de cantitățile de gaz date, precum și de unitățile în care se măsoară ceilalți parametri ai gazului.

Dacă se aplică însă formula Clapeyron, nu unei mase oarecare de gaz, ci unei molecule-gram (mol), care după legea lui Avogadro ocupă (la presiunea de 760 torri și temperatura de 0°C) volumul molecular $V_0 = 22,41 \text{ l}$, constanta B capătă aceeași valoare pentru toate gazele. Această constantă generală se notează cu litera R .

În expresia (4), introducând deci volumul molecular V_0 în loc de V , obținem:

$$pV_0 = RT, \quad (5)$$

unde R are aceeași valoare pentru toate gazele, și se numește *constantă gazelor perfecte*.

Expresia (5) constituie *ecuația de stare a gazelor perfecte*. Pentru gazele reale, ea are aceeași valoare aproximativă ca și legile Boyle-Mariotte și Gay-Lussac, din care derivă. Această expresie a fost dedusă din ecuația (4) ca o generalizare de către D.I. Mendeleev în 1874 și publicată în 1875. Ea este cunoscută și sub numele de *formula Mendeleev-Clapeyron*.

Plecând de la formula (3) $Vp = V_0 p_0 (1 + \alpha t)$, dacă facem calculele de la zero absolut și grupăm cantitățile constante $V_0 p_0 \alpha$ separat și le notăm cu R ,

$$R = V_0 p_0 \alpha = \frac{V_0 p_0}{273,13}$$

obținem de asemenea $V_0 p = R T$.

Constanta R are valoarea: $\frac{V_0 p_0}{273,13} = \frac{22,41 \cdot 1}{273,13} = 0,082 \text{ litri at/grad.}$

mol.

Legile Boyle-Mariotte și Gay-Lussac se aplică cu atît mai multă exactitate cu cît gazele se află mai departe de punctul lor de lichefacere. În condițiile obișnuite, oxigenul, azotul, hidrogenul ș. a., se comportă practic ca gaze perfecte și li se aplică deci legile gazelor perfecte.

La presiuni mai mari, pentru gaze reale devine necesară o corecție; aceasta apare în formula lui Van der Waals:

$$\left(p + \frac{a}{V_0^2}\right) + (V_0 - b) = RT \quad (6)$$

sub forma coeficienților de corecție a și b . Se vede ușor că, dacă V_0 (volumul molecular) este foarte mare, deci la o presiune mică, termenul a/V_0^2 din primul factor devine egal cu zero, iar b devine neglijabil pe lîngă o valoare foarte mare a lui V_0 ; la presiunea obișnuită, formula lui Van der Waals devine deci:

$$pV_0 = RT.$$

d) Reducerea unui volum de gaz la condițiile normale este una din aplicațiile în tehnică, în meteorologie și în medicină ale legilor examinate. De multe ori, în studiile de fiziologie, igienă etc., dacă măsurăm volumul V de gaz la temperatura t și sub presiunea H , și vrem să avem rezultate comparabile cu altele făcute în alte condiții de temperatură și presiune, este nevoie să aducem la 0°C și 760 mm Hg volumul unui gaz aflat la altă temperatură și presiune. În acest scop folosim relațiile stabilite în baze legilor gazelor.

Pentru a face această reducere, scoatem valoarea lui V_0 din formula (3): $pV = p_0V_0(1 + \alpha t)$.

Dacă $p_0 = 760$ mm Hg, formula (3) devine:

$$pV = 760 V_0 (1 + \alpha t),$$

de unde obținem pe V_0 în funcție de elementele cunoscute sau măsurate:

$$V_0 = \frac{p}{760} \times \frac{V}{1 + \alpha t}.$$

Dacă gazul cuprinde vapori de apă care au o presiune proprie f , trebuie să ținem seama de faptul că presiunea p a gazului este mai mică decît presiunea totală H măsurată. În acest caz vom avea

$$H = p + f, \text{ de unde } p = H - f,$$

asa că formula de mai sus devine

$$V_0 = V \cdot \frac{H - f}{760 \cdot (1 + \alpha t)}.$$

Legea lui Gay-Lussac se extinde, de la starea gazoasă, la alte fenomene similare, care se petrec de exemplu în soluții (presiunea osmotică).

5. LEGEA LUI DALTON

Legea lui Dalton se referă la presiunea unui amestec de gaze. Într-un amestec de gaze, fiecare din ele se comportă, în ceea ce privește presiunea, ca și cum ar fi singur în spațiul considerat, presiunea totală a amestecului fiind egală cu suma presiunilor parțiale ale fiecărui gaz din amestec.

$$P_{totala} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots$$

Măsurarea directă a presiunii parțiale a unui gaz dintr-un amestec se poate face numai dacă dispunem de un vas cu un perete semipermeabil,

adică un perete permeabil pentru acel gaz și impermeabil pentru celelalte. Astfel, o placă de platină incandescentă este permeabilă pentru hidrogen și impermeabilă pentru alte gaze. Gazul care străbate prin peretele semi-permeabil capătă aceeași presiune de ambele părți ale peretelui despărțitor al vasului.

Vasul de platină *B* din care s-a scos aerul și care a fost adus la incandescență, este introdus într-o incintă *D* (fig. 101), în care se află hidrogen în amestec cu un gaz cu care nu reacționează la temperatura ridicată la care se lucrează, de exemplu argonul. Hidrogenul pătrunde în *B*, pînă ce presiunea hidrogenului se egalează în *B* și *D*. Presiunea din *B*, citită la manometrul cu mercur *C*, va arăta presiunea parțială a hidrogenului din amestecul de hidrogen și argon din vasul *B*.

Legea lui Dalton, ca și celelalte legi ale gazelor, este valabilă pentru gazele perfecte. B. B. Golițin, studiind amănunțit, în 1890, presiunea parțială a gazelor reale și a vaporilor dintr-un amestec gazos, a constatat și determinat unele abateri la legea lui Dalton.

O aplicație a legii lui Dalton este presiunea pe care o întîlnim în studiul componentelor aerului pe care-l respirăm.

Aerul fiind un amestec de oxigen, azot, bioxid de carbon, gaze rare etc., pentru a stabili, de exemplu, care este presiunea oxigenului în aerul atmosferic, folosim datele furnizate de analiza gazelor atmosferice. Această analiză arată că oxigenul ocupă în volum circa 21% din volumul aerului; luat singur, el va ocupa la presiunea atmosferică un volum de cinci ori mai mic decît volumul de aer din care face parte. În amestec cu azotul, el ocupă un volum de cinci ori mai mare, deci presiunea lui este de cinci ori mai mică decît cea atmosferică, respectiv de 21% din presiunea atmosferică, adică circa 250 g/cm² în greutate, iar în coloana barometrică aproximativ 159 mm Hg.

Același calcul ne va da presiunea în g/cm² a azotului și a bioxidului de carbon, dacă vom cunoaște procentual volumele lor în aerul considerat.

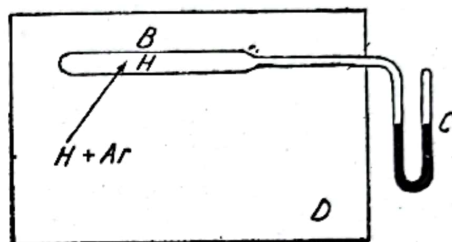


Fig. 101 — Schema determinării presiunii parțiale a hidrogenului.

6. LEGEA LUI HENRY

Această lege arată condițiile de dizolvare a gazelor în lichide. Ea interesează studiul funcțiilor corpului uman și ale organismelor în genere. Dizolvarea gazelor în lichide se face pînă ce cantitatea dizolvată atinge o limită care nu mai poate fi depășită dacă temperatura și presiunea gazului rămîn neschimbate. În acest caz, lichidul este saturat cu gaz.

Legea lui Henry poate fi examinată sub următoarele patru aspecte parțiale:

a) Dintr-un amestec de gaze, aflate în prezența unui lichid, fiecare din aceste gaze se dizolvă în lichid ca și cum ar fi singur în prezența lichidului dizolvant.

Un exemplu concret ni-l oferă dizolvarea în apă a componentelor aerului atmosferic. Aerul fiind un amestec de aproximativ un volum oxigen și patru volume azot, apa va dizolva cantitatea de oxigen pe care ar fi dizolvat-o dacă oxigenul ar fi fost singur în prezența apei, însă cu presiunea de 1/5 at; apa va dizolva cantitatea de azot din aer pe care ar fi dizolvat-o dacă azotul ar fi fost singur în prezența apei, dar avînd presiunea de 4/5 din presiunea atmosferică. Cantitatea de oxigen dizolvată în unitatea de volum la temperatura

de 15° este produsul dintre coeficientul de solubilitate, care este 0,029 9 pentru această temperatură, și 1/5:

$$Q_0 = 0,029\ 9 \times 1/5 = 0,005\ 98.$$

Pentru azot, calculul se face la fel, utilizând coeficientul de solubilitate al azotului, care la 15° este de 0,014 8:

$$Q_N = 0,014\ 8 \times 4/5 = 0,011\ 84.$$

Raportul dintre oxigenul dizolvat în apă și azotul dizolvat în apă este deci următorul:

$$\frac{Q_O}{Q_N} = \frac{0,005\ 98}{0,011\ 84} = 0,505 \sim \frac{1}{2}.$$

Deci, spre deosebire de aer, unde raportul dintre cantitatea de oxigen și cea de azot este de 1/4, la aerul dizolvat în apă raportul este de 0,505, adică aproximativ 1/2. Proporția de oxigen din aerul dizolvat în apă este deci de două ori mai mare decât cea din aerul atmosferic. Aceasta creează condiții foarte favorabile pentru respirația și viața animalelor și plantelor acvatice.

b) Cantitatea de gaz dizolvată într-un lichid depinde de natura gazului și de natura lichidului. Astfel, oxigenul este mai solubil în apă decât hidrogenul, iar metanul este mai solubil în petrol decât în apă. Raportul dintre volumul maxim de gaz dizolvat și volumul de lichid în care se dizolvă gazul se numește coeficientul de solubilitate al gazului în acel lichid.

c) Coeficientul de solubilitate al gazului variază în raport invers cu temperatura: încălzind apa, aerul care fusese dizolvat în ea se degajează în bună parte, nemaifiind solubil la temperatura mai ridicată, și apa ne apare plină cu bule de aer.

Tabelul 9 arată, pentru câteva gaze uzuale în biologie, cum scade coeficientul de solubilitate al gazelor pe măsură ce crește temperatura.

Tabelul 9

Variația coeficientului de solubilitate al gazelor în lichide, în raport cu temperatura

Gazul Temperatura	0°	10°	15°	20°	37°
Aer	0,024 7	0,019 5	0,017 9	0,017 0	0,013 0
Azot	0,020 3	0,017 0	0,014 8	0,014 0	0,011 0
Bioxid de carbon	1,798 7	1,184 7	1,002 0	0,901 4	0,511 0
Oxigen	0,041 1	0,032 5	0,029 9	0,028 4	0,022 0

d) În fine, la o temperatură dată, cantitatea de gaz dizolvată în lichid este proporțională cu presiunea pe care o exercită gazul asupra lichidului după ce s-a dizolvat cantitatea maximă de gaz posibilă, în condițiile date. Aceasta se verifică printr-o experiență simplă: scoțind dopul unei sticle de apă gazoasă, presiunea se micșorează și bioxidul de carbon (ce fusese dizolvat în cantitate mare la presiunea mare cu care a fost introdus în sticlă), la micșorarea presiunii, are o solubilitate mai mică; de aceea, tot gazul care fusese dizolvat în plus se degajează sub formă de bule gazoase de bioxid de carbon, care apar în tot cuprinsul apei gazoase și se ridică la suprafață.

Presiunea gazului dizolvat într-un lichid saturat cu acel gaz are aceeași valoare ca și presiunea parțială a gazului aflat deasupra acestui lichid, deoarece, într-un lichid saturat cu gaz, presiunea produsă de loviturile moleculelor de gaz dizolvat asupra suprafeței lichidului (venind din interior) este egală cu presiunea produsă de aceste molecule pe suprafața lichidului, pe dinafară.

Presiunea unui gaz dizolvat într-un lichid este denumită uneori și tensiunea aceluia gaz în lichid.

7. DENSITATEA GAZELOR

În afară de aplicațiile examinate pînă acum, un alt domeniu unde se aplică legile gazelor este cel al determinării densității acestora.

La gaze, ca și la celelalte stări de agregare, greutatea specifică se determină cîntărind unitatea de volum. Determinarea este legată, la gaze, de variabilitatea mare a volumului de gaz cu presiunea și cu temperatura, caracteristică stării gazoase; rezultatele trebuie deci corectate. De aceea se preferă, în practică, determinarea *densității relative a gazelor*.

Admițînd că, atît gazul de determinat, cît și aerul sînt gaze perfecte, în interiorul anumitor limite, volumele lor luate egale la o anumită temperatură vor fi egale și la oricare altă temperatură. Densitatea relativă a unui gaz în raport cu aerul, fiind deci independentă de temperatură, este suficient de exactă pentru nevoile practice. În mod practic, ea se determină făcînd raportul dintre greutatea unui volum de gaz și greutatea aceluiași volum de aer la aceeași temperatură și presiune.

Gazele care interesează în primul rînd fiziologia au următoarele densități relative, în raport cu aerul:

Oxigenul.. .. .	D = 1,105
Azotul.....	D = 0,972
Bioxidul de carbon	D = 1,529

Densitatea relativă fiind raportul dintre densitatea absolută a gazului considerat (greutatea specifică) și densitatea absolută a gazului de referință (aerul) vom avea

$$D = \frac{d_{\text{a gaz}}}{d_{\text{a aer}}}$$

Vom putea determina astfel greutatea specifică a oricărui gaz înmulțind densitatea sa relativă cu greutatea specifică a aerului, care este egală cu 0,001 293 g/ml.

Greutățile specifice ale celor trei gaze mai importante din aer sînt:

$$\text{Oxigenul } 1,105 \times 0,001\,293 = 0,001\,428 \text{ g/ml}$$

$$\text{Azotul } 0,972 \times 0,001\,293 = 0,001\,251 \text{ g/ml}$$

$$\text{Bioxidul de carbon } 1,529 \times 0,001\,293 = 0,001\,977 \text{ g/ml.}$$

E. MECANICA RESPIRAȚIEI

În studiul respirației și al mijloacelor de îngrijire preventivă și curativă a aparatului respirator regăsim întreaga serie de fenomene de mecanică a gazelor.

Respirația este actul reflex care procură oxigenul necesar organismului și mai ales mușchilor, care sînt cei mai mari consumatori de oxigen dintre

țesuturi. Respirația constă dintr-o mișcare alternativă de mărire și micșorare a volumului cutiei toracice, care are drept efect reînnoirea aerului din plămîni. Se deosebesc doi timpi: *inspirația*, care corespunde măririi volumului toracelui, și *expirația*, care corespunde micșorării sale de volum.

Aceste variații de volum se datoresc contracțiilor unor anumiți mușchi și sînt posibile datorită elasticității pulmonare și toracice. În absența oricărui efort muscular, poziția de repaus a toracelui corespunde unei expirații profunde, adică poziției cutiei toracice pe cadavru.

Elasticitatea țesutului pulmonar se poate verifica insuflînd aer cu ajutorul unui tub legat de trahee, într-un plămîn scos din corp. Pe calea aceasta se pot introduce pînă la 5 l aer. Încetînd insuflarea, plămînul revine la forma lui prin forța elastică dezvoltată, iar aerul insuflat este eliminat.

1. FENOMENELE MECANICE ÎN INSPIRAȚIE ȘI EXPIRAȚIE

Inspirația este un fenomen activ care se face cu efort muscular. Mărirea toracelui se face prin mișcarea pereților acestuia în diferite direcții. Astfel, în direcția transversală și antero-posterioară, mărirea de volum se produce prin ridicarea coastelor, care se rotesc în jurul articulațiilor costo-vertebrale ca în jurul unor balamale. În respirația normală, mușchii intercostali externi ridică coastele. În inspirația forțată intervin și scalenul anterior și posterior, micul pectoral, sterno-cleido-mastoidianul etc. În direcția verticală, mărirea cavității toracice se face prin contracția diafragmei, al cărei centru coboară cu 1—2 cm. La examenul radiosopic se vede perfect cum părțile periferice, destinzîndu-se, măresc volumul pulmonar.

Pătrunderea aerului în plămîn se datorește faptului că acest organ urmează mișcarea pereților cavității toracice, care se mărește în inspirație. Prin mărirea volumului acestei cavități, plămînul, care urmează pereții cavității, se dilată. Creșterea de volum aduce după sine, potrivit legii Boyle-Mariotte, micșorarea presiunii în plămîn, și astfel aerul atmosferic pătrunde în alveole. Măsurătorile făcute cu un manometru cu apă au arătat că, față de presiunea atmosferică, presiunea în căile respiratorii este cu 1—4 cm coloană de apă mai mică în inspirație și cu 1—4 cm coloană de apă mai mare în expirație.

În mod normal, expirația se face fără efort muscular. Elasticitatea plămînului și a pereților toracici, adăugată la atracția gravitației — în poziția verticală a corpului — sînt suficiente pentru a produce lăsarea în jos a coastelor și a sternului. Pe de altă parte, diafragma relaxîndu-se, masa intestinală extensibilă prin tonicitatea mușchilor abdominali și prin gazele din tubul digestiv este împinsă în sus.

La expirația forțată participă mușchii toracici (intercostalii interni, pătratul lombar, micul dințat, triunghiularul sternului), care coboară coastele, precum și mușchii abdominali care comprimă masa viscerală sau coboară ultimele coaste. Micșorîndu-se volumul cavității toracice, presiunea crește și aerul alveolar este expulzat.

Expirația normală este în aparență un act pasiv, dată fiind relaxarea mușchilor intercostali. Studiul curenților de acțiune produs de diferiți mușchi respiratori a arătat însă că mușchii intercostali interni se găsesc în tot timpul pauzei dintre mișcările respiratorii într-o stare de excitație, care, deși puțin intensă, poate fi totuși relevată pe cale electrică.

Mecanismul respirator al inspirației și al expirației poate fi urmărit pe modelul mecanic imaginat de Funke. Acest aparat (fig. 102) este alcătuit în principiu din două baloane de cauciuc, legate de cele două ramuri ale unui

tub în formă de T, care trece printr-un dop de cauciuc care închide un clopot mare de sticlă; partea inferioară a acestui clopot este închisă printr-o membrană groasă de cauciuc, care poate fi trasă în jos cu ajutorul unui cîrlig.

Pentru a dilata cele două baloane care modelează plămîinii, se scoate din clopot o cantitate de aer prin tubul de cauciuc *t*, care se închide apoi cu un clește. Manometrul cu apă ne arată că, în clopotul *C*, presiunea este mai mică decît cea atmosferică, iar aerul care pătrunde prin cele două baloane de cauciuc, și le umflă, nu poate, din cauza elasticității acestora, să compenseze cu totul această depresiune.

Dacă tragem în jos membrana care închide clopotul, se mărește volumul clopotului; presiunea din el se micșorează și mai mult: lichidul din manometru arată aceasta, coborînd în partea dinspre atmosferă și urcînd în partea dinspre clopot. Aerul atmosferic pătrunde prin tubul *T*, care modelează traheea, intră în cele două baloane de cauciuc, care reprezintă plămîinii, și îi dilată mai mult, întrucît are o contrapresiune și mai mică în clopot. Se reprezintă astfel pe model o inspirație.

Dînd drumul cîrligului, membrana de cauciuc, care reprezintă în modelul lui Funke diafragma, revine la loc; volumul clopotului se micșorează, presiunea se mărește, iar aerul intrat mai înainte în cele două baloane de cauciuc este expulzat prin tubul *T*: se modelează astfel o expirație.

Deosebirea cea mai importantă dintre modelul mecanic al lui Funke și structura toracică constă în faptul că în corp nu există spațiu între plămîn și cutia toracică, ceea ce face ca plămînul să rămînă în fiecare moment perfect lipit de peretele toracelui.

Presiunea pleurală scăzută, asemănătoare celei din clopot, se poate pune în evidență introducînd între cele două foițe pleurale o sondă (un ac) în legătură cu un manometru cu apă: se constată că presiunea intrapleurală este constant inferioară presiunii atmosferice; ea prezintă însă variații în raport cu fazele respirației. La sfîrșitul inspirației ea este (la om) de 10 cm coloană de apă și la sfîrșitul expirației de 4 cm coloană de apă.

Denumirea de *vid pleural* este improprie, deoarece, între foițele pleurale, seroasa care limitează această cavitate nu este impermeabilă pentru gaze, și fiindcă există în țesuturile din jur oxigen, azot și bioxid de carbon în cantități apreciabile. De aceea, cînd introducem o sondă în spațiul interpleural, găsim acolo o anumită presiune, care am arătat că este mai mică decît cea atmosferică.

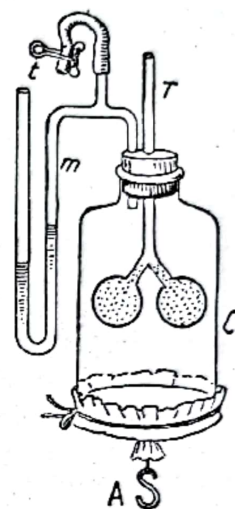


Fig. 102 — Aparatul lui Funke.

2. MECANICA GAZELOR RESPIRATORII

Un interes deosebit îl prezintă studiul mecanicii gazelor care participă la procesul respirației.

În primul rînd trebuie examinată compoziția aerului inspirat și a celui expirat. Compoziția aerului inspirat este constantă în condiții normale, în același loc. Aerul conține 20,93—20,94% oxigen, 0,03—0,04% bioxid de carbon și 79,02—79,04% azot și gaze rare (printre care 1% argon), precum și o cantitate oarecare de vapori de apă.

Aerul expirat cuprinde 15,5—17,5% oxigen, 2,5—5% bioxid de carbon, are o temperatură de 35—37° și este saturat cu vapori de apă.

În alveolele pulmonare, aerul se înnoiește mereu, amestecându-se cu cel atmosferic, intrat în timpul respirației.

Aerul alveolar are o compoziție aproape constantă; el conține 4,5—6% bioxid de carbon și 14,5—16% oxigen.

Pentru ca schimburile gazoase să se poată face în plămîni și în țesuturi, gazele trebuie să se dizolve în lichidele din țesuturile respective. Fenomenele care au loc în schimbul de gaze se desfășoară după legile gazelor, iar cantitatea dizolvată depinde de presiunea gazului.

Aplicînd legea lui Dalton, presiunea parțială a oxigenului din aerul atmosferic se calculează din relația următoare:

$$\frac{p}{p_{at}} = \frac{n}{100},$$

de unde

$$p = \frac{n \cdot p_{at}}{100}$$

unde p este presiunea parțială a oxigenului, p_{at} este presiunea atmosferică, iar n este procentul în volum al gazului în amestec. În cifre, oxigenul din aer are presiunea parțială p cu valoarea următoare

$$p_{\text{oxigen}} = \frac{20,93 \times 760}{100} = 159 \text{ mm Hg.}$$

În aerul alveolar, presiunea parțială a gazelor se determină după formula

$$p = \frac{a (p_{at} - 47)}{100}$$

unde a este procentul în volum al gazului, iar 47 este presiunea în mm Hg a vaporilor de apă care saturează la 37° spațiul alveolar.

Presiunea oxigenului alveolar oscilează astfel între 100 și 115 mm Hg față de presiunea parțială a oxigenului din atmosferă, care atinge, după cum am văzut, 159 mm Hg; presiunea parțială a bioxidului de carbon din alveole, calculată după aceleași formule, variază între 35 și 50 mm Hg față de presiunea parțială a bioxidului de carbon din aer, care este de 0,3 mm Hg.

Cel mai important fenomen mecanic în respirație este trecerea gazelor prin peretele alveolar.

S-a calculat că, la om, suprafața totală a alveolelor este cuprinsă între 60 și 120 m². Suprafața totală a capilarelor pulmonare fiind de același ordin de mărime, sângele se poate considera că alcătuiește un strat cu suprafața totală de 60—120 m² și cu o grosime de 5—8 microni. Deși difuziunea gazelor în lichide este relativ înceată, totuși o suprafață de contact atît de mare între sânge și aerul alveolar asigură un schimb de gaze destul de rapid.

Cercetările au arătat că în sângele venos din artera pulmonară tensiunea oxigenului (presiunea cu care gazul este dizolvat în lichid) este mai mică decît presiunea sa parțială în aerul alveolar, iar tensiunea bioxidului de carbon este mai mare decît presiunea sa parțială în aerul din alveole.

În sângele arterial, tensiunea bioxidului de carbon este puțin mai mare decît presiunea parțială a bioxidului de carbon în alveole; tensiunea



oxigenului în sângele arterial este ceva mai mică decât presiunea parțială a oxigenului din aerul alveolar.

În tabelul 10 sint redată, în cifre medii, presiunile parțiale ale celor două gaze care participă la respirație, în aerul alveolar, în sângele arterial și în cel venos, în torri.

Tabelul 10

Gazul	Presiunea parțială		
	Sânge venos	Aer alveolar	Sânge arterial
Oxigen	40	115	110
Bioxid de carbon	60	40	45

În legătură cu presiunea gazelor din aerul alveolar și din capilare, s-a elaborat o teorie a schimburilor gazoase la nivelul alveolelor pulmonare, pe baza fenomenelor osmotice.

După această teorie, trecerea gazului prin peretele alveolar depinde de diferența presiunilor parțiale ale gazului pe ambele fețe ale peretelui alveolar, gazul trecând din regiunea cu presiune mai mare în regiunea cu presiune mai mică. Deci, bioxidul de carbon, care are în sânge o presiune parțială mai mare decât în aerul alveolar, trece din sânge în alveole, iar oxigenul, a cărui presiune parțială este mai mare în alveole decât în sânge, trece în sens invers bioxidului de carbon.

Caracterul osmotic al fenomenului este verificat și în procesul schimburilor gazoase în cazuri de respirație în condiții neobișnuite.

Astfel, în caz de asfixie, de intoxicație cu gaze toxice (CO , H_2S), de narcoză profundă, de înec sau de electrocutare, când sint atinși centrii respiratori, se administrează bolnavului un amestec de 50—60% oxigen și 3—5% bioxid de carbon, restul până la 100 fiind azot; acest gaz se numește „carbogen”. Uneori, în loc de oxigen se administrează aer căruia i s-a adăugat 2—3% bioxid de carbon.

În toate aceste cazuri, bioxidul de carbon suplimentar se adaugă bioxidului de carbon din aerul alveolar, și astfel presiunea parțială a bioxidului de carbon din alveole întrece tensiunea bioxidului de carbon din sângele venos. Eliminarea de CO_2 prin expirație se oprește, și gazul CO_2 începe să treacă din alveole în sânge, unde se acumulează până când cantitatea de CO_2 venită din țesuturi, plus cea inspirată, precumpănește; tensiunea CO_2 din sânge devine din nou mai mare decât presiunea parțială a bioxidului de carbon din aerul alveolar, și eliminarea începe din nou, în noile condiții.

Paralel cu acumularea de CO_2 în sânge se mărește însă și amplitudinea și frecvența mișcărilor respiratorii, ventilația pulmonară crește. O ventilație sporită contribuie la eliminarea mai rapidă a toxicului din organism.

Experiențele au arătat că creșterea conținutului de CO_2 în sânge stimulează și centrul respirator. Acest fapt este folosit la asfixiați, înecați și electrocuțați pentru readucerea la respirația normală.

Aceasta este rațiunea folosirii carbogenului în cazurile de insuficiență respiratoare arătată.

Cu toate că este stabilit că fenomenul de osmoză are un rol determinant în procesul schimburilor gazoase pulmonare, totuși unii autori (Bora) admit că paralel cu fenomenul de osmoză se petrec și alte fenomene: celulele epiteliului pulmonar prind „activ” și transportă oxigenul din alveole în sânge și CO_2 din sânge în alveole.

3. VENTILAȚIA PULMONARĂ

Sub denumirea de ventilație pulmonară se înțelege procesul calitativ și cantitativ de trecere a aerului prin plămîn în decursul unui anumit interval de timp.

Frecvența respirației depinde de vîrstă și condițiile fiziopatologice. Ea este de aproximativ 44 de respirații pe minut la naștere și descrește pînă la 16 pe minut la vîrsta de 30 de ani; apoi urcă cu vîrsta spre 18 pe minut.

Exercițiul muscular, digestia, febra, emoțiile puternice măresc frecvența respirației.

Studiul cantitativ al ventilației pulmonare se face determinînd cantitatea de aer inspirat și expirat, prin măsurări făcute cu spirometrul.

a) **Spirometre.** Sînt folosite mai multe tipuri de spirometre: umede, uscate, manometrice ș.a.

Spirometrul obișnuit (fig. 103) este un gazometru care are forma unui clopot gradat, introdus într-un rezervor cu apă de diametru ceva mai mare decît clopotul. Suflînd aerul printr-un tub a cărui extremitate externă se află în partea de jos și cea internă ajunge deasupra apei, aerul introdus ridică clopotul și anumite gradații arată volumul aerului care a produs această ridicare. Pentru a nu se produce erori prin faptul că clopotul, fiind greu, produce comprimarea aerului insuflat și falsifică astfel măsurătoarea, clopotul este menținut în echilibru indiferent cu ajutorul unei contragreutăți trecute peste un scripete. Pentru volumul respirator, echilibrarea cu ajutorul unei greutăți fixe este suficientă, deși — pe măsură ce clopotul iese din apă — el nu mai este împins de jos în sus și deci contragreutatea nu

Fig. 103 — Spirometrul cu apă.

mai este suficientă pentru a determina echilibrul indiferent despre care s-a vorbit mai sus. Se remediază aceasta prin anumite corecții, prin marcarea diferențială a diviziunilor etc.

Unele spirometre din această categorie sînt mai precise. Un astfel de aparat se compune dintr-un gazometru, al cărui clopot metalic este echilibrat printr-un dispozitiv care introduce o contragreutate variabilă.

Clopotul gazometrului nu se cufundă într-un rezervor cu apă, ci într-un spațiu inelar umplut cu apă (fig. 104) și aflat între rezervor și un clopot interior. Pentru a compensa variațiile de presiune exercitată asupra gazometrului de volumul variabil de apă pe care partea de clopot cufundată în apă îl deplasează în mod diferit la diferitele experimentări, și chiar în cursul

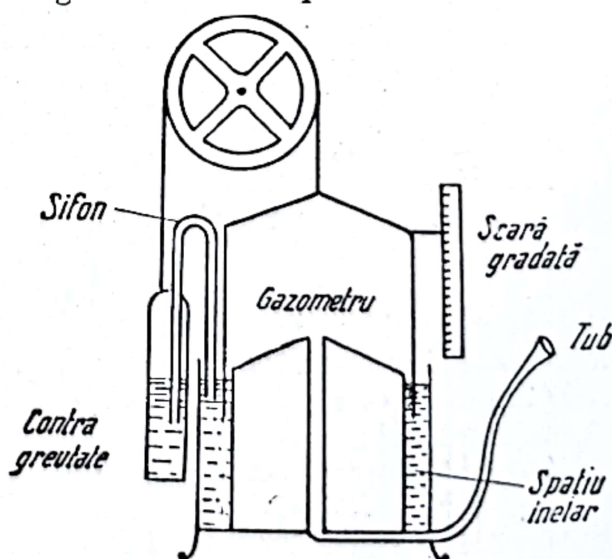


Fig. 104 — Spirometru cu contragreutate variabilă.

aceleiași determinări, contragreutatea e formată dintr-un tub umplut cu apă și care comunică cu spațiul inelar printr-un sifon. Tubul contrapondere are secțiunea s astfel calculată încît este egală cu secțiunea cilindrului inelar de metal din clopotul gazometrului $\pi (R - R')^2$, unde R este raza suprafeței exterioare și R' raza suprafeței interioare a secțiunii clopotului.

Dacă gazometrul se ridică cu o înălțime h și deci devine mai greu, fiindcă partea din apă din spațiul inelar nu mai este atît de mare, și deci presiunea apei de jos în sus s-a micșorat, contragreutatea se încarcă cu o cantitate sh de apă (unde s este secțiunea și h înălțimea) care echilibrează exact diminuarea $s'h$ a presiunii exercitate asupra gazometrului de apa din spațiul inelar. Acest model de spirometru, fiind mai precis, este folosit pentru determinări de laborator.

Pentru determinările în serie, la muncitori, funcționari, sportivi, elevi, studenți, ostași etc., se utilizează adesea un spirometru cu apă în care clopotul nu are contrapondere (fig. 105); ridicarea lui prin aerul insuflat se citește pe o riglă gradată, atașată chiar la clopot, și care arată în ml volumul de aer insuflat. Gradarea se face ținîndu-se seama de corecțiile necesare, așa că ele arată volumul gata corectat.

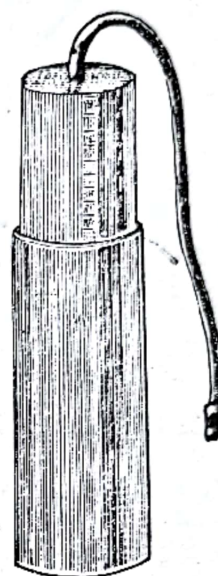


Fig. 105 — Spirometru cu apă, fără contragreutate.

Se folosesc și *spirometre uscate*. Unul dintre aparatele din această categorie este spirometrul uscat, în care aerul se insuflă într-un balon de pînză impermeabilă aflat într-un recipient, și avînd fixată la extremitatea superioară o tijă gradată. Lungimea părții de tijă ieșită prin orificiul superior al spirometrului uscat arată volumul de aer expirat (fig. 106).

Se construiesc *spirometre manometrice* al căror principiu nu mai este măsurarea volumului variabil la presiunea constantă, ci determinarea acestui volum cu ajutorul presiunii variabile, la volum constant. Un astfel de spirometru este *masca spirometrică*; suflînd într-o mască-rezervor de volum limitat, ale cărei margini se pot aplica pe față, astfel încît să acopere gura și nasul, cantitățile din ce în ce mai mari de aer, comprimate într-un volum constant, determină mărirea presiunii, care se citește la manometrul măștii. Acest aparat se gradează prin calcul și se verifică prin comparație cu un spirometru de precizie (fig. 107).

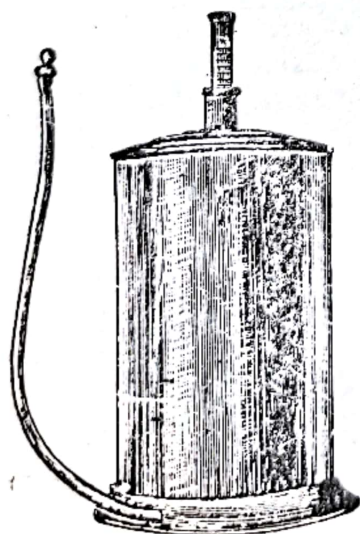


Fig. 106 — Spirometru uscat.

Unele spirometre sînt construite pe principiul *contorului de gaz*; aerul expirat trece prin aparat și pune în mișcare niște palete, care, la rîndul lor, printr-un sistem de angrenaje, acționează un ac indicator, care se mișcă pe un cadran gradat, prin comparație.

b) **Volumele respiratorii.** Cu ajutorul spirometrului putem măsura volumele de aer expirate în diferitele condiții:

— *Aerul curent* sau *aerul respirator* este cantitatea de aer introdusă într-o inspirație obișnuită și eliminată printr-o expirație normală; volumul aerului respirator este în medie de 500 ml.

— *Aerul complementar* (circa 1 500 ml) este cantitatea maximă de aer pe care o mai poate

inspira un om adult după ce a făcut o inspirație normală de aer respirator de 500 ml; aerul complementar este deci diferența dintre volumul de aer introdus într-o inspirație forțată și cel introdus printr-o inspirație normală.

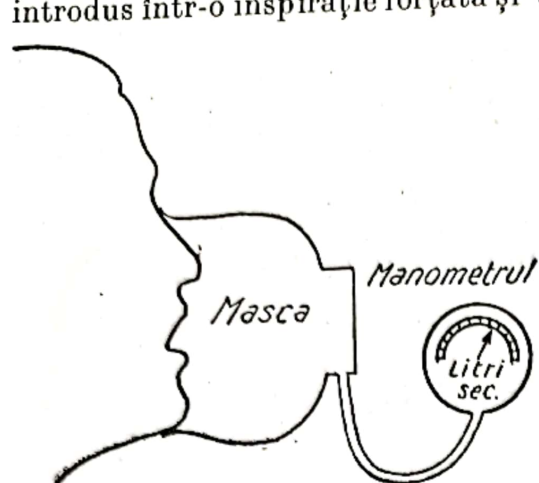


Fig. 107 — Masca manometrică.

— *Aerul de rezervă* (circa 1 500 ml) este cantitatea maximă de aer pe care o mai putem expira după o expirație normală de 500 ml; aerul de rezervă este deci diferența dintre volumul unei expirații forțate și cel al unei expirații normale.

— *Aerul rezidual* este cantitatea de aer care mai rămâne în plămâni după o expirație forțată; aerul rezidual are în medie volumul de 1 000 ml.

Aceste cifre definesc trei mărimi curente în ventilația pulmonară (tabelul 11).

Tabelul 11

Volumele respiratorii

Capacitatea pulmonară totală = = 4 500 ml	Aer complementar	1 500 ml	} Capacitatea vitală = 3 500 ml
	Aer curent	500 ml	
	Aer rezervă	1 500 ml	} Capacitatea pulmonară = 2 500 ml
	Aer rezidual	1 000 ml	

Aerul rezidual (1 000 ml) + aerul de rezervă (1 500 ml) formează capacitatea pulmonară (2 500 ml); aerul complementar (1 500 ml) + aerul curent (500 ml) + aerul de rezervă (1 500 ml) alcătuiesc capacitatea vitală, de 3 500 ml; aceasta reprezintă capacitatea de aer ce se poate expira forțat după ce s-a făcut o inspirație forțată. Toate cele patru cifre laolaltă formează capacitatea pulmonară totală, care este, în medie, de circa 4 500 ml.

Primele trei volume respiratorii menționate mai înainte se măsoară cu spirometrul, iar al patrulea se calculează prin diferite mijloace, după măsurători directe făcute pe cadavre. Recent, aerul rezidual se măsoară prin metode de explorare funcțională folosind gaze inerte (heliu etc.).

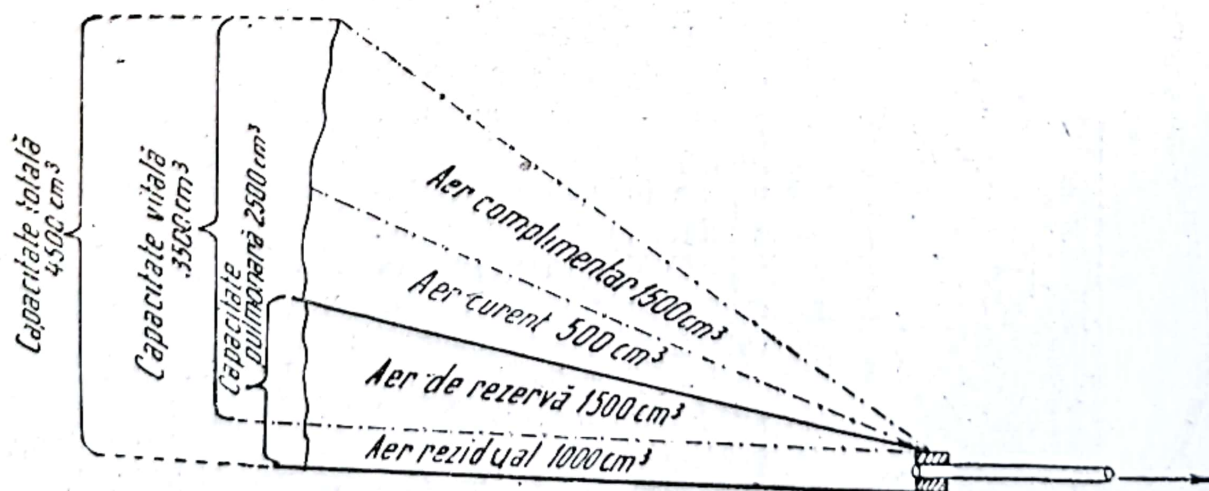


Fig. 108 — Suflaiul pulmonar (schemă după Joliet-Viault).

Capacitatea totală a plămînului fiind de $\sim 4\,500$ ml și aerul curent introdus pentru inspirație fiind de ~ 500 ml, se înlocuiește într-o respirație cam a noua parte a aerului pulmonar; după nouă respirații (în medie), plămînul este deci complet ventilat.

Pentru a urmări mai ușor diferitele valori respiratorii, se dau o serie de scheme intuitive, dintre care menționăm schema sugestivă numită foalele sau suflaiul pulmonar, a lui Joliet și Viault (fig. 108).

4. RESPIRAȚIA ÎN CONDIȚII ANORMALE

Respirația în alte condiții decît cele normale ridică și o serie de probleme de mecanică respiratorie.

a) **La presiunea scăzută.** Presiunea atmosferică scade pe măsură ce ne urcăm în atmosferă la altitudini mai mari. În troposferă, presiunile aproximative sînt cuprinse în tabelul 12.

Tabelul 12

Altitudini	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	km
Presiunea	760	680	600	530	460	405	355	310	270	230	200	170	torri

Rarefierea aerului are drept consecință o micșorare progresivă a presiunii parțiale a oxigenului în alveole, și deci și în sîngele arterial, acesta fiind saturat cu oxigen în proporție de 90% din capacitatea sa de absorbire a oxigenului.

Pînă la 3 000 — 3 500 m, cei mai mulți ascensionisti și aviatori nu prezintă tulburări grave. Se observă o respirație amplificată și accelerată, puls accelerat, creșterea masei sîngelui circulant, stimulare a hematopoezei.

De la 4 500 m în sus apar tulburări mai grave. Dacă ascensiunea pe munte se face încet sau dacă aviatorul este antrenat, apar doar simptome de anoxie: oboseală, apatie, somnolență, cefalee, dispnee, tahicardie, uneori greață și hemoragii, toate cunoscute sub numele de „rău de munte” sau „boală de înălțime”. Dacă ascensionistul nu se oprește sau aviatorul nu inspiră oxigen, apare pierderea cunoștinței.

La 4 500 — 6 000 m apar tulburări în activitatea nervoasă superioară, în reglarea respirației și circulației; aceste tulburări capătă la 6 000—7 000 m o formă periculoasă, care la cei neantrenați poate aduce chiar moartea.

La înălțimi mai mari nu se poate trăi fără inspirație de oxigen.

Adaptarea la înălțime sau aclimatizarea la aerul rarefiat se produce datorită în primul rînd măririi numărului de eritrocite, care de la 5 milioane/mm³ ajung la 7—8 milioane/mm³. Aceasta se produce mai încet la urcare și dispare mai încet la coborîrea de la înălțime. Accelerarea ventilației pulmonare și mărirea frecvenței (polipnee) se produc însă foarte repede, și sînt mijlocul cel mai important de hrănire a țesuturilor la o ascensiune rapidă în atmosferă.

Inspirarea de oxigen de către aviator la înălțime se face ținîndu-se seama că presiunea oxigenului care intră în plămîni nu trebuie să fie în nici un caz mai mare decît presiunea atmosferică ce se exercită la suprafața corpului, căci în caz contrar se produce ruptura țesutului pulmonar. Oxigenul se administrează deci la presiunea corespunzătoare altitudinii la care se află aviatorul în momentul dat.

Pînă la 14 — 15 km (altitudine atinsă de aviatorii sovietici) se poate zbura cu mască de oxigen; dar, mai sus, în zborurile stratosferice, aviatorul trebuie izolat ermetic într-o carlingă sau nacelă specială, cu pereți metalici rezistenți, în care presiunea aerului să fie cea normală de la nivelul mării și să existe dispozitive de produs oxigen pentru inspirație și de absorbit bioxidul de carbon expirat.

Fixarea oxigenului (hematoza) se face în interiorul anumitor limite de presiune. Oxigenul din aer pătrunde în alveole, traversează membranele alveolelor pulmonare și este fixat de hemoglobina din eritrocitele singelui, sub formă de oxihemoglobină. Stabilitatea acestei substanțe biochimice este în funcție de presiune și de temperatură. Presiunea de 20 mm Hg este presiunea limită de stabilitate a oxihemoglobinei; la 22 mm Hg, care este presiunea oxigenului în singele venos, oxihemoglobina se transformă în hemoglobină și cedează oxigen țesuturilor. Dar, dacă presiunea scade și mai mult (sub 20 mm Hg), hemoglobina pierde proprietățile de a fixa oxigenul.

b) **La presiunea ridicată.** Presiunea ridicată se întâlnește în munca scafandrilor sau în unele tratamente medicale cu aer comprimat, care acționează ca agent fizic asupra omului. Muncitorii coboară în clopote sau chesoane pentru a face lucrările la picioare de pod, la fundații de baraj, la recuperarea navelor scufundate etc. La coborîre, apa pătrunde în clopot pe măsura scufundării, comprimînd aerul din el; pentru a evacua apa, se trimite cu pompe speciale aer în clopot la o presiune superioară celei a apei, la adîncimea la care se lucrează. Astfel, la 50 m adîncime, presiunea coloanei de apă este de 5 at, în afară de presiunea atmosferică. Trimițînd cu compresoarele aer cu presiunea de 5 at în cheson, prin tuburile respective, acest aer evacuează apa din clopot și muncitorul poate lucra; el respiră însă în clopot aer de 5 at, deci inspiră de cinci ori mai mult oxigen și de cinci ori mai mult azot decît la respirația normală de la suprafața pămîntului. Pentru un interval de cîteva ore, cît durează munca în adîncime, s-a constatat că omul poate respira oxigen de cinci ori mai mult decît se află în aerul atmosferic; acesta cuprinzînd $\frac{1}{5}$ oxigen, respirația în clopot ar echivala cu o respirație de $\frac{5}{5}$ oxigen, deci ca și cum muncitorul ar inspira oxigen curat în loc de aer.

În ce privește însă azotul, care are presiunea parțială de cinci ori mai mare decît la suprafața apei, el nu este absorbit de hemoglobină, așa cum se întîmplă cu oxigenul, ci se dizolvă în toate țesuturile, și mai ales în țesutul adipos și în țesutul nervos bogat în grăsimi.

Cînd muncitorul revine brusc la suprafață, trecînd de la presiunea de 5 atmosfere, din apă, la presiunea normală, azotul poate rămîne dizolvat în lichidele organismului numai în proporția care corespunde coeficientului său de solubilitate, adică $\frac{1}{5}$ din cît s-a dizolvat în timpul aflării scafandrului la adîncime. După legea lui Henry, restul de $\frac{4}{5}$ din azot iese din soluție, dar nu ajung să pătrundă în stare de gaz în alveole, ci formează bule de azot în țesuturi și în vasele sanguine; aceste bule produc tulburări circulatorii, putînd duce la moarte.

Se mai produc cu această ocazie colecții gazoase în țesutul celular, producînd emfizem muscular sau periarticular. Aplicînd o ventuză pe aceste umflături, azotul trece prin țesuturi și umple ventuza; se poate astfel obține o verificare a celor arătate mai sus.

De aceea, prescripțiile de protecția muncii în lucrările subacvatice prevăd că ridicarea la suprafață trebuie să se facă foarte încet, pentru ca azotul care iese din soluție să poată trece treptat în alveolele pulmonare.

În patologia muncii, accidentele profesionale datorite suprapresiunii se numesc *hiperbaropatii*; ele sînt cunoscute și sub denumirea de boala lui Trigger, după numele cercetătorului care a stabilit cauza reală a acestei boli, numită mai înainte „boala chesonierilor”.

Pentru a evita accidentele menționate, muncitorii de la lucrările subacvatice sînt introduși în camere cu presiune intermediară, atît la coborîre, cît și la urcare. Scafandrii trebuie urcați cîte 1 m/s de la fundul apei pînă la jumătate adîncime și cîte 1 m în 6 secunde în jumătatea a doua a ascensiunii; se fac opriri intermediare, în raport cu adîncimea apei în care se lucrează. Se limitează durata imersiunii în raport cu adîncimea. Astfel, de exemplu, la 60 m, scafandrul nu trebuie să stea în apă mai mult de 5 minute.

5. ROLUL VAPORILOR DE APĂ

Vaporii de apă care se elimină în actul respirației au un rol important în mecanica respiratorie. Schimburile respiratorii nu se fac direct între aer și sînge, ci prin membrana alveolară, care este umedă. Stratul de apă care îmbibă membrana are rolul de a dizolva oxigenul. Numai astfel vehiculat, oxigenul poate traversa membrana alveolară și să se dizolve în plasma sanguină, de unde este luat de hemoglobină.

Rolul apei ce îmbibă pereții alveolelor se evidențiază prin stînjnirea pe care o simțim cînd respirăm aer prea uscat. Apa alveolelor, care în mod normal menține prin evaporarea în alveole o atmosferă saturată cu vaporii de apă, se vaporizează prea repede într-o ambianță uscată și privează epiteliul de lichidul necesar transportului de oxigen. De aceea se recomandă iarna, în camere încălzite, un vas cu apă care să dea aerului vaporii necesari. Eliminarea de vaporii prin expirație se poate verifica calitativ direct cînd respirăm în aer rece: vaporii expirați se condensează sub formă de ceață.

Cantitativ, vaporii expirați se determină prin metodele de absorbție obișnuite în laborator.

6. PNEUMOTORAXUL

Plămînul ocupă în cavitatea toracică un spațiu mai mare decît cel corespunzător stării lui de echilibru normal; el este menținut permanent în stare de distensie datorită elasticității sale și presiunii atmosferice din alveole, precum și solidarității sale, prin foițele pleurale, cu peretele toracic. În mod natural, intrarea aerului între foițele pleurale, printr-un accident sau din cauza unei stări patologice, provoacă stringerea plămînului; fenomenul este cunoscut sub numele de *pneumotorax spontan*.

Creînd o cavitate pleurală în mod artificial, adică provocînd un *pneumotorax artificial*, se permite plămînului să se retracte datorită elasticității sale. Suprimînd solidaritatea plămînului cu peretele toracic, se suprimă inegalitatea de tensiune care constituie un factor de evoluție și agravare a tuberculozei. Prin pneumotoraxul artificial se realizează astfel un repaus relativ al plămînului, care creează condiții optime pentru procesul de scleroză.

Cercetările au arătat că, în afară de factorul mecanic, se produce în pneumotorax o încetinire a circulației sanguine și limfatice a plămînului colabat. În ce privește ventilația pulmonară, se constată în pneumotorax păstrarea valorii normale a aerului curent și dispariția aerului complementar, rezidual și de rezervă.

Rezultatele bune obținute prin aplicarea acestei metode au condus la aplicarea curentă a pneumotoraxului terapeutic. Pneumotoraxul terapeutic se realizează prin introducerea unui gaz în cavitatea pleurală cu ajutorul unor aparate alcătuite în principiu din două părți: un manometru cu aer liber, indicator al presiunii pleurale, și care este în genere un tub de sticlă în formă de U, avînd o soluție apoasă colorată, și o scară gradată prin comparație; un sistem care realizează insuflarea gazului printr-o piesă ori printr-un aparat cu corp de pompă și piston. Se face legătura cu un trocar sau un mandren între cavitatea pleurală și tubul manometric sau sistemul de insuflare, după cum vrem, fie să apreciem presiunea, fie să introducem gaz în cavitatea pleurală.

La începutul aplicării metodei s-a folosit azotul pentru insuflare, deoarece s-a crezut că acest gaz se resoarbe mai încet și deci necesită puncții mai rare. Cercetările ulterioare au arătat însă că, indiferent de gazul introdus, în scurtă vreme gazul din cavitatea pleurală are aceeași compoziție cu aerul atmosferic, difuziunea gazelor prin parenchim conducînd la o nivelare rapidă. De aceea se insuflă în prezent aer filtrat prin vată. Unii fiziologi preferă să introducă la prima insuflație oxigen pentru cazul că s-ar produce o introducere accidentală de gaz într-un vas sanguin.

Metoda pneumotoraxului terapeutic a fost creată de Carlo Forlanini, care, continuînd cercetările începute de Carson în 1819, a realizat pentru prima oară colapsul terapeutic în 1888 și a prezentat metoda în 1895, la Congresul din Roma, bazîndu-se pe ameliorările obținute.

F. APARATE PNEUMATICE DE CLINICĂ ȘI LABORATOR

În clinică și laborator sînt utilizate numeroase aparate care permit aplicații ale vidului.

Astfel, *seringa* este o pompă aspiratoare-respingătoare construită pentru o singură aspirație și respingere (fig. 109).

Aparatele de făcut vidul sînt utilizate la scoaterea aerului din diferite dispozitive. Cele mai întrebuițate sînt aparatele cu mercur. Ele sînt construite pe principiul vidului barometric. Se știe că, dacă răsturnăm într-un vas cu mercur un tub lung de 1 000 mm, plin cu mercur, lichidul coboară pînă la 760 mm, această coloană de mercur fiind echilibrată de presiunea atmosferică. Dacă operația s-a făcut bine, deasupra mercurului avem un vid perfect, numit vid barometric. Dacă tubul barometric este pus în comunicație cu un vas cu aer printr-un robinet cu două căi prin care poate comunica, o dată cu vasul cu aer, și altă dată cu atmosfera, obținem o pompă barometrică.

Dînd tubului cu mercur formă de vase comunicante legate printr-un tub flexibil (fig. 110), se obține golirea de aer a vasului *V*, în modul următor: mercurul umple complet vasul *A* prin manipularea părții mobile, eliminînd astfel aerul din *A* prin robinetul deschis, în atmosferă. Închizînd robinetul și coborînd vasul cu mercur *B*, se formează vid barometric în *A*. Deschidem robinetul spre vasul *V*; aerul din acest vas ocupînd ambele spații *V* și *A*, presiunea lui scade. Închidem robinetul spre *V* și-l deschidem apoi spre atmosferă, ridicînd pe *B* pînă ce mercurul elimină aerul din *A* în atmosferă. Presupunînd, pentru simplificarea demonstrației, că vasul *V* are aceeași capacitate cu vasul *A*, vom avea după prima operație, în *V*, jumătate din cantitatea inițială de aer, după a doua operație 0,25, după a treia, 0,125 etc., astfel că, după un număr mare de manevrări, vom avea

în V aer sub o presiune de ordinul unei miimi de mm Hg. Niciodată nu vom atinge însă vid perfect în V .

Pompa barometrică este folosită, sub diferite forme, în laborator, la dozarea ureei în sânge, când prin oxidarea cu brom se obține și se dozează, cu ajutorul vidului barometric, azotul rezultat.

Trompa de apă (fig. 111), care servește deseori la facerea vidului necesar unor lucrări de laborator, este alcătuită dintr-un tub care se pune în legătură cu un robinet de apă. Tubul este înconjurat de un manșon de sticlă sau de metal, pus în legătură cu vasul din care vrem să scoatem aerul. Curentul de apă trece cu viteză mare prin tub și trece prin i , antrenând treptat aerul care vine printr-un alt tub de la recipientul în care vrem să facem vid. Antrenarea aerului este legată de fenomenul de absorbție din cauza presiunii negative produse. Aerul eliminându-se cu încetul, vidul în vas se face treptat. Vidul făcut cu trompa nu este complet, din cauză că nu se poate absorbi întreaga cantitate de aer din vas și din cauză că, în locul aerului absorbit, pătrund vapori de apă a căror presiune este de minimum 15 mm Hg la temperatura obișnuită.

Ventuză. Aplicând ventuza, folosim vidul parțial produs pentru crearea unei revulsii locale. În ventuză se obține o rarefiere mare a aerului, prin încălzirea, dilatarea și evacuarea lui în cea mai mare parte din ventuză. Aplicând-o repede pe piele, aerul rezidual din ventuză are o presiună mică, deci avem un vid parțial.

În tehnica vidului, la fabricarea tuburilor electronice, a lămpilor electrice etc., se folosesc pompa centrifugă, pompa cu vapori de mercur, pompa rotativă Gaede etc., a căror descriere și funcționare se găsesc în tratate de specialitate.

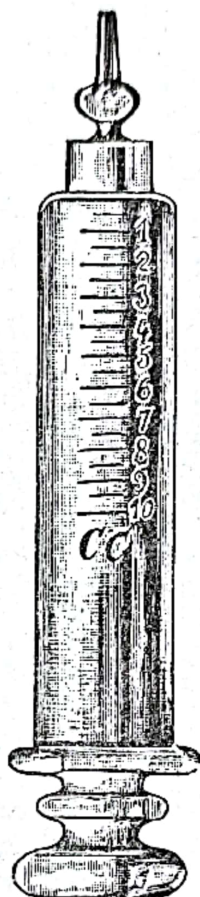


Fig. 109 — Seringa este o pompă aspiratoare-refulantă.

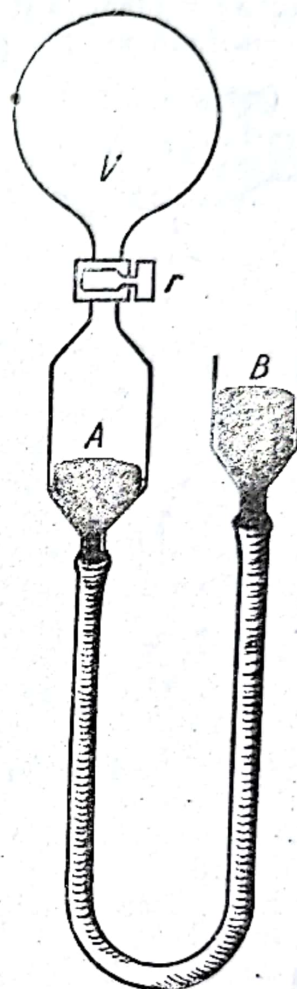


Fig. 110 — Pompa barometrică.

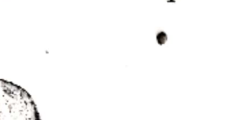
La încheierea capitolului de mecanică trebuie să arătăm că *aplicarea legilor mecanicii în biologie* trebuie să se facă cu o deosebită atenție.

Faptul că fenomenele mecanice sînt mai evidente decît alte forme de mișcare a materiei și că ele explică mai ușor unele fenomene fizice a făcut ca — în secolele XVII, XVIII și XIX — mulți fizicieni să conceapă toate fenomenele fizice ca fenomene mecanice, mai simple sau mai complexe.

Această înțelegere a fenomenelor, cunoscută în dezvoltarea filozofiei sub numele de concepția materialismului filozofic mecanicist, a domnit

și în studiul experimental al fenomenelor fizico-chimice care se desfășoară în organism, și a făcut ca o serie întreagă de fizicieni, fiziologi și medici să considere organismul omenesc și al animalelor ca o „mașină vie“, a cărei activitate nu diferă în principiu de cea a unui dispozitiv mecanic mai complex.

În medicină, această concepție s-a concretizat în școala *iatromecanică*, pe care am menționat-o într-un capitol anterior.



În stadiul actual al științei, materialismul mecanicist nu oglindește însă cunoașterea justă a fenomenelor, mai ales din organism. Este adevărat că și în acest domeniu nu există alte forțe decât cele materiale și că legile generale ale materiei — legile conservării și transformării materiei și energiei — se aplică în totul și organismelor; dar substanța vie are alte proprietăți decât materia neînsuflețită. Rezultat al unei dezvoltări îndelungate a materiei, substanța vie a pe care nu le-a avut în etapele anterioare de

Fig. 111 — Trompa de apă.

căpătat proprietăți noi,
dezvoltare.

La aplicarea legilor mecanicii, ca și a tuturor legilor fizice în lumea vie, trebuie să se țină seama permanent de condițiile speciale de dezvoltare înaintată a substanței vii și de faptul că organismelor li se aplică legi speciale, fiziologice, legate de dezvoltarea biologică arătată.

TERMODINAMICA

I. BAZELE TEORETICE ALE FENOMENULUI TERMIC

A. FENOMENELE TERMICE

Observarea diferitelor categorii de fenomene naturale duce la concluzia că, pe lângă transformările studiate în mecanică, mai există și alte moduri de transformare a stării corpurilor.

Examinând câteva fenomene, în aparență disparate, cum sînt: alungirea unei sîrme de fier fără să se fi exercitat asupra ei vreo tracțiune mecanică, ridicarea temperaturii unei pompe de compresiune care a funcționat cîtva timp, transformarea benzinei în gaze (CO_2) și vapori (H_2O) prin ardere, încălzirea apei în care am turnat cu băgare de seamă acid sulfuric, constatăm că ele sînt strîns legate de cheltuirea sau obținerea unei forme de energie numită curent „căldură“.

Căldura este, evident, o formă de energie. Ea se obține prin transformarea altor forme de energie și se poate transforma la rîndul ei în diferite alte forme de energie: chimică, mecanică, luminoasă, electrică etc.

Toate fenomenele legate de energia termică se mai numesc fenomene termice. Ele sînt uneori grupate, în studiul fizicii, în capitolul intitulat „căldura“.

După natura fenomenelor termice, se fac pentru nevoile didactice subgrupe așa cum le vom întîlni mai departe: termostatica, termodinamica, termometria, calorimetria etc. Totuși, teoria științifică a căldurii arată că întregul studiu al căldurii trebuie să poarte denumirea generală de „termodinamică“.

B. TEORIILE DESPRE NATURA CĂLDURII

Pentru explicarea fenomenelor termice, pentru care am spus că se păstrează și azi numele de căldură, s-au emis în decursul dezvoltării științelor diferite teorii.

1. TEORIA IDEALISTĂ A CĂLDURII

Din antichitatea clasică și pînă la fizicienii secolului al XVIII-lea a domnit teoria idealistă a căldurii. Conceperea și prezentarea căldurii, fie ca „foc elementar“ de Aristotel, în antichitate, fie ca „termogen“ ori „caloric“ în secolul al XVIII-lea, este evident idealistă. În adevăr, la finele secolului al XVIII-lea, fizicienii idealiști mai considerau că starea termică este datorită unui fluid invizibil și fără greutate, numit „termogen“, care ocupă spațiul dintre cele mai mici particule ale materiei. După această

teorie, termogenul poate trece de la un corp la altul: un corp material pierzînd termogen se răceşte, iar cînd primeşte termogen se încălzeşte.

Această teorie idealistă, combătută de fizicienii materialişti ai epocii, nu a putut rezista descoperirilor făcute în secolul al XIX-lea în domeniul termodinamicii.

2. TEORIA MECANICĂ A CĂLDURII

Savanţii materialişti ai secolului al XVII-lea şi al XVIII-lea, Boyle, Hooke, Stevinus şi îndeosebi Lomonosov, susţinînd principiul conservării energiei, au formulat şi teoria mecanică a căldurii.

Astfel, M. V. Lomonosov, pornind de la unitatea, de la legăturile şi interdependenţa fenomenelor din natură, a formulat principiul general care a devenit mai tîrziu legea conservării energiei.

Legea universală descoperită de Lomonosov, şi care îi poartă numele, a fost extinsă şi concretizată după 100 de ani, cînd din observaţiile făcute asupra fenomenelor termice şi mecanice s-a stabilit echivalenţa dintre energia mecanică consumată şi cea termică obţinută. Teoria mecanică a căldurii a fost argumentată prin cele două principii ale termodinamicii, care vor fi tratate mai departe.

Lomonosov a trecut mai departe şi a formulat în lucrarea sa „Reflexii asupra corpurilor solide şi lichide”, prezentată la 1760 Academiei de ştiinţe din Petersburg, o teorie prin care respinge termogenul şi se apropie, prin concepţiile sale, de cele de astăzi. El spunea: „înainte de toate am dovedit că focul elementar al lui Aristotel sau, după concepţii mai noi, o materie specială calorică care trece de la corp la corp, mişcîndu-se fără cea mai mică cauză probabilă, este numai o ficţiune, şi am stabilit că focul şi căldura constau dintr-o mişcare circulară a particulelor şi mai ales a materiei din care se compun particulele”.

Introducerea noţiunii de mişcare, deci de energie, în transformările termice, permite stabilirea unor legi fizice fundamentale privind energia termică. Studiul fenomenelor termoeenergetice din acest punct de vedere se numeşte termodinamică. Comprimarea şi destinderea gazelor, transformarea căldurii în mişcare, a lucrului mecanic în căldură, sînt studiate în termodinamică.

Fără a intra în studiul microscopic al proceselor de felul celor menţionate şi limitîndu-se la desfăşurarea lor în sisteme plurimoleculare, metoda de cercetare termodinamică are o valoare principială şi practică în acelaşi timp. O serie întregă de probleme tehnice, legile de trecere a energiei dintr-o formă în alta şi efectuarea lucrului mecanic datorită energiei calorice se studiază din punct de vedere termodinamic.

3. TEORIA CINETICĂ MOLECULARĂ

În acelaşi timp, teoria cinetică moleculară a materiei, despre care am vorbit la mecanica gazelor, pune problema explicării proprietăţilor macroscopice ale corpurilor prin studierea proceselor moleculare care stau la baza lor.

Astfel studiat fenomenul, mărimile macroscopice fizice devin valori medii ale mărimilor ce caracterizează procesul corespunzător molecular sau atomic. Măsurînd presiunea unui gaz, frecarea internă ori conductibilitatea termică, observăm de fapt efectul mediu al ciocnirii unui mare număr de molecule într-un interval de timp care este foarte mare faţă de durata fiecărei ciocniri în parte.

Examinată la un număr foarte mare de molecule și într-un timp foarte mare, mișcarea lor dezordonată capătă o anumită regularitate, așa că, oricât de diferite ar fi valorile energiei cinetice a mișcării moleculelor separate, în starea de echilibru a materiei, energia cinetică medie are o valoare bine determinată. Calculul probabilităților, aplicat la fenomenul fizic, arată că media aritmetică a mărimilor care apar într-un fenomen este cu atât mai aproape de valoarea reală cu cât numărul de determinări este mai mare.

Suma energiilor potențiale și cinetice ale moleculelor care se mișcă dezordonat constituie energia interioară a materiei, adică *fondul energetic* numit *căldură*, iar *valoarea medie a energiei* determină nivelul de căldură, adică *temperatura* corpului respectiv.

Dacă studiem o cantitate de gaz, constatăm că ea este compusă dintr-un număr imens de particule foarte mici (molecule și atomi). Într-un mililitru de aer atmosferic se află circa 30 miliarde de miliarde de molecule. Diferite experimente arată că moleculele și atomii sînt într-o mișcare continuă, rapidă și dezordonată. Numai folosind valoarea medie a acestei mișcări putem studia fenomenul.

Pentru a obține rezultate concrete, nu studiem mișcarea fiecărei particule în parte, ci valorile medii ce caracterizează mișcarea întregii cantități de corpuscule. Metoda folosită este deci o *metodă statistică*. Această metodă este mult întrebuintată în capitolul de fizică moleculară, așa că întreaga parte care se ocupă cu teoria cinetică moleculară se numește *fizica statistică*.

Termodinamica, care studiază din punct de vedere energetic unitar toate transformările termice posibile în lumea macroscopică a corpurilor, și teoria cinetică moleculară, care studiază fenomenele din punctul de vedere microscopic, al moleculelor, se deosebesc numai prin punctele de vedere de la care pornesc și prin metodele de care se servesc; ele se completează reciproc.

Astăzi concepem căldura ca un fenomen energetic datorit mișcării dezordonate a unui foarte mare număr de molecule care oscilează în jurul poziției lor de echilibru. Această mișcare dă naștere la radiații calorice ce se propagă prin unde, a căror lungime începe de la $\lambda = 0,76$ microni ($7\ 600\ \text{\AA}$) și ajunge la $\lambda = 400$ microni ($4\ 000\ 000\ \text{\AA}$).

Fenomenele termice se explică admitînd căldura ca fiind energia de mișcare a particulelor din care este alcătuită materia. Faptul că prin mișcarea unui corp, prin frecare sau ciocnire, se produce căldură, permite presupunerea că o parte din energia de mișcare a corpului luat ca întreg se transmite tot ca energie de mișcare particulelor din care se compune corpul, deci moleculelor sale, care-și măresc astfel energia lor de mișcare.

Prin creșterea energiei moleculare, distanța dintre molecule se mărește, așa că, cel puțin la lichide și solide, energia potențială intermoleculară crește.

Orice proces care micșorează energia moleculară a unui corp produce ceea ce se numește, în mod curent „pierdere de căldură” a acestui corp, și prin orice proces care mărește energia moleculară se dobîndește căldură.

Trebuie să arătăm aici că noțiunile de „pierdere” și „dobîndire” de căldură presupun existența unor „cantități de căldură”, așa cum vom vedea în capitolele care studiază calorimetria. O analiză termodinamică profundă, făcută încă la începutul secolului actual (1909), a arătat că nici nu este necesară mărimea fizică numită „cantitatea de căldură”, mai ales că pierderea și dobîndirea de căldură amintesc tocmai „termogenul” sau „caloricul” din teoriile idealiste ale secolelor trecute.

Totuși, atît în expunerile științifice, cît și în manipulările practice se mai folosește și astăzi noțiunea de „cantitate de căldură”, „capacitate calorică” etc., care sînt mai lesnicioase la minuit în calcule și experimentări.

II. MĂSURAREA TEMPERATURII

A. PROPAGAREA CĂLDURII

1. PROPAGAREA CĂLDURII

În corpurile *solide*, căldura se propagă prin conductibilitate, trecind de la un strat de molecule la cel vecin, ca în niște lame elementare, cu o viteză care poate fi exprimată prin relația

$$V = k \cdot \frac{t' - t}{s}$$

unde $t' - t$ este diferența de temperatură dintre cei doi pereți ai lamei, s este grosimea lamei elementare, iar k este un coeficient de proporționalitate, care arată valoarea conductibilității termice a corpului considerat.

În *lichide*, căldura se propagă prin convecție, adică prin curenți de lichid. Încălzind la fund o eprubetă cu apă, straturile de apă de la fund își măresc volumul, micșorându-și densitatea, și se ridică la suprafață, iar în locul lor vine apa rece de sus. Prin încălzire diferențială se formează astfel curenți de lichid.

O aplicație practică în igiena modernă a locuințelor este încălzitul cu ajutorul apei calde (termosifon). Apa încălzită se ridică de la cazanul de încălzire la radiator, în virtutea diferenței de densitate, și încălzește radiatoarele; răcindu-se, coboară din nou în cazan, lăsând loc altor cantități de apă caldă, care continuă circuitul de convecție.

În *gaze*, căldura se propagă, atât prin curenții de convecție, cât și prin radiație. Radiația are loc și în vid. Newton a formulat radiația astfel:

$$Q = M (t' - t)$$

în care M este un factor care depinde de mediul de străbătut, $t' - t$ este căderea de temperatură dintre sursă și un punct oarecare P , iar Q este cantitatea de căldură radiată care a ajuns în punctul P .

Radierea căldurii depinde de mărimea suprafeței radiante și de starea acesteia. Astfel, suprafețele lucioase au o putere mică de emisiune a căldurii precum și de absorbție, în timp ce suprafețele mate au putere mare de emisie și absorbție. Radiația căldurii va fi tratată mai amănunțit în paragraful despre conductibilitatea termică.

2. EFECTE ALE CĂLDURII. DILATAREA

Când se mărește energia termică a unui corp, acesta poate suferi anumite transformări. Aceste transformări nu depind de natura izvorului, ci numai de energia termică dată acelui corp și într-o anumită măsură, în unele mașini, este condiționată și de viteza de încălzire.

Transformările pe care le poate suferi un corp sub acțiunea energiei termice sînt: modificări de volum, schimbări ale stării de agregare, transformări chimice etc.

Dintre aceste transformări vom trata recapitulativ dilatarea corpurilor, care are aplicație directă în termometrie.

Dilatarea. Fenomenul de modificare a volumului unui corp, datorită variației temperaturii sale, se numește dilatare.

a) **Dilatarea corpurilor solide.** La corpurile solide, variația dimensiunilor sub influența căldurii se face în toate direcțiile. La unele corpuri, la care lungimea este foarte mare față de celelalte două dimensiuni (cum este cazul unei sirme lungi și subțiri), variația în lungime este în valoare absolută mult mai mare față de variația în celelalte direcții, așa că se poate vorbi practic de *dilatare liniară*. Aceasta se face după o lege a cărei expresie este

$$L_t = L_0 (1 + \alpha t) \quad (1)$$

și care arată că lungimea L_t a corpului dilatat prin ridicarea temperaturii cu t° este funcție de lungimea L_0 pe care a avut-o înainte de dilatare, de variația temperaturii reprezentată prin t și de un coeficient α care se numește coeficient de dilatare liniară. Coeficientul de dilatare al unui corp reprezintă variația unității sale de lungime pentru o variație de temperatură de 1°C .

Dilatarea în volum sau *dilatarea cubică* constă din variația volumului unui corp datorită variației de temperatură; ea se face după o lege a cărei expresie este

$$V_t = V_0 (1 + \beta t)$$

și care spune că volumul V_t al unui corp solid este, la o variație de temperatură de t° , funcție de volumul V_0 pe care l-a avut corpul înaintea acestei variații, de variația de temperatură t și de coeficientul de dilatare cubică β (variația unității de volum a unui corp pentru variația de temperatură de 1°C).

Admițând, pentru simplificare, că valoarea coeficientului de dilatare în volum este cubul valorii coeficientului de dilatare liniară

$$(1 + \beta t) = (1 + \alpha t)^3.$$

și dezvoltând cubul binomului de dilatare liniară, obținem

$$(1 + \beta t) = 1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3,$$

Cum valorile coeficientului de dilatare sînt în general mici, se poate neglija termenul în α^2 și α^3 , care sînt din ce în ce mai mici, așa că rămîne

$$1 + \beta t = 1 + 3\alpha t,$$

de unde

$$\beta = 3\alpha,$$

adică: coeficientul de dilatare în volum este aproximativ de trei ori mai mare decît coeficientul de dilatare liniară.

b) **Dilatarea lichidelor** se studiază ținîndu-se seama de faptul că lichidele nu au o formă bine definită așa cum au corpurile solide, și deci nu se poate vorbi de dilatări decît în volum.

De asemenea intervine în măsurători dilatarea vasului în care se află lichidul. Vasul mărindu-și capacitatea, indicațiile de mărire de volum a lichidului sînt mai mici decît în realitate. De aceea, dilatarea reală a lichidului D_r este egală cu dilatarea aparentă D_a plus dilatarea vasului D_v :

$$D_r = D_a + D_v.$$

c) **Dilatarea gazelor** a mai fost atinsă la studiul legilor gazelor și va mai fi tratată la transformările termodinamice.

Un gaz încălzit într-un recipient deschis, deci la presiunea atmosferică (constantă), se dilată, volumul său modificându-se după expresia

$$V_t = V_0 (1 + \alpha_v t),$$

unde α_v este coeficientul de dilatare în volum, sub presiune constantă; acest coeficient are valoarea, după cum am arătat, de $1/273,12$.

Dacă însă încălzim o cantitate de gaz aflată într-un vas închis, deci cu volum constant, constatăm la manometrul vasului că, pe măsura încălzirii gazului, presiunea crește. Expresia presiunii finale a gazului la t° este

$$P_t = P_0 (1 + \alpha_p t^\circ),$$

unde α_p se numește coeficientul de dilatare al gazului, sub volum constant. Coeficientul α_p are aceeași valoare ca și α_v , adică $1/273,12$.

B. TERMOMETRIA

Partea din fizică ce se ocupă cu măsurarea temperaturilor se numește termometrie.

1. TEMPERATURA

Am arătat că temperatura reprezintă nivelul termic al unui corp, adică starea sa de încălzire sau de răcire. Temperatura este funcție de energia cinetică moleculară. Ea nu indică deci energia totală de mișcare a moleculelor, ci arată numai nivelul termic care determină sensul de trecere a energiei moleculare de la un corp la altul.

Reflectarea acestei stări, a acestui nivel termic în simțurile noastre sub formă de temperatură, este foarte relativă: noi nu putem deosebi temperaturile foarte ridicate de cele foarte scăzute; astfel, o picătură de fier topit ($\sim 1600^\circ$) și o picătură de aer lichid (-196°) dau aceeași senzație de arsură. Ieșind dintr-o cameră încălzită într-un coridor neîncălzit, vom avea senzația de frig, în timp ce altcineva, venind de afară, din ger, va găsi că în același coridor este cald.

Aprecierea temperaturii unui corp depinde de conductibilitatea termică și de capacitatea calorică a corpului respectiv. De exemplu, nu putem ține în mână o monedă metalică încălzită la 100° , dar putem ține o bucată de vată scoasă dintr-un termostat unde a fost încălzită la 120° .

2. SCĂRILE TERMOMETRICE

Temperatura, fiind o mărime fizică, poate fi măsurată.

Pentru măsurarea nivelului termic se folosesc aparate numite termometre. Se construiesc termometre care pentru măsurarea temperaturii utilizează diferite fenomene fizice: dilatarea, efectul termoelectric, variația rezistenței electrice, radiația, topirea etc.

Unitatea de măsură pentru temperatură nu are legătură cu unitățile fundamentale din sistemele studiate. În termometrie se folosește ca unitate de măsură gradul. Dar și acest grad are valori diferite, după scara termometrică utilizată, adică după intensitatea fenomenului termic folosit pentru etalonarea termometrului.

De aceea, înainte de a trece la descrierea termometrelor întrebuintate în laborator, în medicină, în tehnică, trebuie să aruncăm o privire succintă asupra scărilor termometrice.

Folosind pentru experimentare un termometru cu mercur, gradarea se face astfel: se introduce termometrul într-un amestec de apă distilată cu fragmente de gheață pură obținută prin înghețarea apei distilate; mercurul din tubul capilar se contractă. După 15–20 de minute, nivelul mercurului se oprește la un anumit punct, unde stă tot timpul cât se topește gheața. Acest nivel al mercurului se notează convențional cu 0°C . Introducem apoi termometrul într-un vas cu apă distilată care fierbe la presiunea atmosferică. Se fixează astfel termometrul încît rezervorul său să se afle la o mică distanță deasupra apei care fierbe, iar restul termometrului să se afle inconjurat de vapori, pînă aproape de nivelul la care mercurul rămîne staționar la temperatura vaporilor de apă ce fierbe. La presiunea atmosferică de 760 mm Hg, acest nivel al coloanei de mercur se notează cu 100°C .

Intervalul dintre punctul 0° și punctul 100° se numește distanța fundamentală a termometrului. Ea se împarte în 100 de părți egale. Presupunind că secțiunea tubului capilar este uniformă în tot lungul lui, intervalul dintre două diviziuni vecine ale distanței fundamentale cuprinde a suta parte din volumul mercurului aflat între cele două limite ale distanței fundamentale; acest interval se numește grad centigrad. Scara centigradă mai poartă numele și de scară *Celsius*, în cinstea savantului cu același nume (1670–1756).

Termometrul centigrad se gradează și dincolo de punctele 0 și 100, cu diviziuni egale cu cele din distanța fundamentală.

Se mai cunosc și alte scări, mai puțin folosite. Astfel, scara *Reaumur* (1683–1757), care are punctul de topire al gheței notat 0°R și cel de fierbere a apei 80°R . Scara *Fahrenheit* (1686–1736) are punctul de topire al gheței la 32°F și cel de fierbere a apei 212°F . Deci, distanța fundamentală a acestei scări este de 180° . Punctul 0 al acestei scări corespunde temperaturii unui amestec frigorifer format din gheață și clorură de amoniu. Raportul dintre mărimea gradelor R și F față de C este următorul:

$$\frac{n^{\circ}\text{R}}{n^{\circ}\text{C}} = \frac{80}{100} \quad \text{și} \quad \frac{n^{\circ}\text{F}}{n^{\circ}\text{C}} = \frac{180}{100}.$$

La folosirea scării F trebuie adăugat gradelor F 32° cînd transformăm gradele celeilalte scări în grade Fahrenheit și trebuie să scădem 32° cînd pornim de la gradele Fahrenheit pentru a le transforma în grade din celelalte scări.

În fine, avem scara temperaturilor absolute, care se mai numește și scara termodinamică sau scara *Kelvin* (K).

În această scară, gradele au aceeași mărime ca și cele din scara centigrad, dar indicațiile de temperatură sînt decalate cu $273^{\circ},12$ (aproximativ 273°), deoarece scara începe de la zero absolut; gradele absolute nu diferă deci de cele ale scării centigrad decît prin numărul 273. Astfel, temperatura unei incinte în care termometrul arată 70°C are, în scara absolută, temperatura de $70 + 273 = 343^{\circ}\text{K}$, iar într-un spațiu în care avem -12° , temperatura T va fi egală cu $273 - 12 = 261^{\circ}\text{K}$.

În cele mai multe țări se întrebuintează scara centigrad. Scara internațională de temperaturi se bazează pe următorul sistem de puncte fixe de temperatură:

1. punctul de fierbere al oxigenului = -183° ;
2. punctul de topire al gheții = 0° ;
3. punctul de fierbere al apei = $+100^{\circ}$;
4. punctul de fierbere al sulfului = $+444,6^{\circ}$;
5. punctul de solidificare al argintului topit = $+960,5^{\circ}$;
6. punctul de solidificare al aurului topit = $+1063^{\circ}$.

Pentru determinarea temperaturilor intermediare în intervalele dintre aceste puncte fixe, se folosesc aparate de interpolare, gradate după aceste puncte. Cu ajutorul acestor puncte fixe se verifică și se etalonează aparatele destinate verificării altor aparate și termometrele pentru măsurători precise.

3. TERMOMETRE CONSTRUITE PE BAZA FENOMENULUI DE DILATARE

Pentru ca indicațiile date de diferitele termometre construite cu un anumit corp termometric să fie comparabile între ele, corpul termometric trebuie obținut și păstrat identic cu el însuși, astfel ca dilatația produsă prin încălzire să fie mereu aceeași și pentru ca la o anumită variație de temperatură să corespundă totdeauna aceeași variație de volum a corpului termometric.

Corpurile solide nu satisfac practic această condiție, coeficientul de dilatare variind cu modificările de microstructură ce se produc ori de câte ori corpul solid este încălzit și răcit.

Lichidele dau, în calitate de corp termometric, rezultate mai bune în ce privește comportarea lor, însă ele nu pot fi folosite decât în aparate confecționate din corpuri solide; se introduce astfel un factor străin, corpul solid, cu toate inconvenientele menționate mai înainte.

Gazele constituie corpuri termometrice foarte bune. Aparatele cu corp termometric gazos dau indicații comparabile. Gazele prezintă și ele inconvenientele amintite la lichide, adică au nevoie de un aparat cu ajutorul căruia să fie manipulate, însă coeficientul de dilatare al gazului este de 300—400 de ori mai mare decât cel al corpurilor solide, așa că influența aparatului devine neglijabilă. Gazele pot fi obținute și păstrate în stare pură, și deci identice cu ele însele, și au totdeauna același coeficient mediu de dilatare. Deși folosirea termometrului cu gaz este greoaie în practică, totuși avantajele corpului termometric gazos determină folosirea termometrului cu gaz drept termometru normal, după care se etalonează, se verifică și se corectează termometrele folosite în clinică și în laborator.

4. TERMOMETRUL CU GAZ

Termometrul cu gaz dă indicațiile cele mai precise asupra variațiilor de temperatură.

În general, un termometru cu gaz se compune, așa cum se vede în fig. 112, dintr-un rezervor A de sticlă, de platină sau de porțelan, continuat cu un tub capilar K , care la rîndul său este în legătură cu un sistem de vase comunicante R_1 și R_2 , legate între ele printr-un tub de cauciuc S .

În rezervorul A se află un gaz (aer sau hidrogen), iar în sistemul de vase comunicante R_1SR_2 se introduce mercur; presiunea gazului din A fiind egală cu presiunea atmosferică, mercurul se află la același nivel în ambele ramuri R_1 și R_2 .

Determinarea temperaturii cu acest aparat se bazează pe dilatarea unui gaz sub volum constant, după legea lui Gay-Lussac. Se introduce rezervorul A într-un amestec de gheață și apă și se lasă 15—20 de minute, pînă ce rezervorul cu gaz a luat temperatura amestecului de gheață și apă, la presiunea atmosferică. Se manipulează partea mobilă R_2 a sistemului de vase comunicante, astfel încît nivelul mercurului să fie același în ambele tuburi R_1 și R_2 (în același plan orizontal BB') și se notează cu un indice (m) locul la

care a ajuns mercurul în ramura fixă. Volumul V_0 al gazului din rezervorul A la temperatura de topire a gheții, care este luată convențional de 0° este determinat, fiindcă se cunoaște capacitatea vasului A , iar presiunea P sub care se află gazul în rezervorul A este de o atmosferă fiindcă s-a obținut suprafața plană BB' a mercurului.

Scoatem rezervorul A din apa cu gheață, îl ștergem, îl uscăm și îl lăsăm să ia temperatura aerului ambiant; apoi îl introducem într-un vas cu apă chimic pură, care fierbe, și îl ținem în vapori, imediat deasupra nivelului apei din acest vas. Gazul închis în A se va dilata și va împinge mercurul în jos în ramura R_1 ; manevrăm ramura mobilă R_2 a tubului cu mercur astfel încît nivelul mercurului să revină la indicele m ; prin această operație am readus volumul gazului dilatat la volumul inițial V_0 . Vom constata că în ramura mobilă mercurul se află la nivelul m' , fiindcă prin încălzire s-a mărit presiunea (volumul A fiind constant).

Diferența de nivel $m' - m = h$ arată urcarea presiunii gazului din A încălzit cu $t = 100^\circ$. Divizînd acest interval h în 100 de părți egale, fiecare din aceste părți va reprezenta urcarea presiunii gazului din A pentru 1° , deci va constitui o măsură pentru un grad Celsius.

Acest aparat permite o precizie mare și este constant în rezultate. Gradul centigrad se definește cu ajutorul termometrului normal ca fiind variația de temperatură necesară pentru a face să crească presiunea unei mase de gaz cu volum constant cu o sutime din variația presiunii pe care o arată între aflarea sa în gheață care se topește, și în vaporii de apă care fierbe la presiunea atmosferică normală.

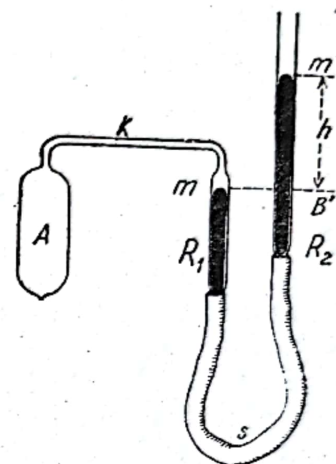


Fig. 112 — Schema termometrului cu gaz.

5. CORPURI TERMOMETRICE LICHIDE

În afară de gaze (hidrogen, aer) se folosesc drept corpuri termometrice anumite lichide. Cele mai întrebuintate lichide termometrice sînt: mercurul, alcoolul-etic, toluenul, eterul de petrol, pentanul.

Mercurul se poate obține curat, are o căldură specifică mică și este lichid între temperaturile de $-38,89$ și $+357^\circ$.

Alcoolul etilic, avînd punctul de înghețare mult sub cel al mercurului, este întrebuintat drept corp termometric pentru măsurarea temperaturilor joase. Alcoolul etilic devine viscos la -100° , iar pentanul se solidifică la -200° ; ele se întrebuintează ca lichide termometrice pentru temperaturile mai joase decît -39° , alcoolul și toluenul pînă la -60° , iar eterul de petrol și pentanul pînă la -180° .

6. CALITĂȚILE TERMOMETRELOR

Termometrul folosit în cercetarea științifică trebuie să satisfacă anumite condiții:

a) Termometrul trebuie să fie *precis*, adică să indice variații mici de temperatură. În acest scop, tubul termometric trebuie să aibă diametrul cît mai mic (chiar capilar), iar rezervorul cît mai voluminos, căci dilatarea lichidului este cu atît mai mare și deci lichidul se urcă cu atît mai mult în

capilar cu cît volumul lichidului care se dilată este mai mare. În acest caz, un grad ocupă în scară o lungime relativ mare, ceea ce permite ca gradul să poată fi împărțit în 10—20—50 și chiar 100 de diviziuni perfect vizibile. Aceasta cere însă pentru intervalul fundamental 0 — 100° un tub foarte lung, ceea ce face ca termometrul să fie foarte greu de mînuit.

b) Termometrul trebuie să fie *sensibil*, adică să indice cît mai repede temperatura corpului cu care se află în contact. Pentru aceasta, rezervorul termometrului trebuie să fie cît mai mic, căci numai avînd puțin lichid termometrul intră mai repede în echilibru termic cu corpul de cercetat și indică mai repede temperatura acestuia.

Aceste două condiții nu pot fi îndeplinite de un același termometru. De aceea, la fiecare termometru, una din calități precumpănește, după scopul pentru care este utilizat termometrul corespunzător.

7. TERMOMETRELE CU MERCUR

Aceste termometre arată temperatura prin dilatarea aparentă a mercurului aflat într-un tub capilar de sticlă. Ele au întrebuințarea cea mai curentă.

Compararea termometrelor cu mercur cu termometrul normal cu hidrogen arată că scara centigrad obținută prin dilatarea aparentă a mercurului într-un tub de sticlă dură, recaptă multă vreme la o temperatură ridicată (sticlă de Iena), este foarte apropiată de scara normală, și că indicațiile termometrului cu mercur sînt comparabile între ele. Coeficientul mediu de dilatare al mercurului este egal cu $0,1815 \cdot 10^{-3}$.

Termometrul cu mercur se poate întrebuința pînă aproape de punctul de fierbere al mercurului (+ 357°). Pentru temperaturi mai mari decît punctul de fierbere al mercurului se poate întrebuința un termometru cu mercur în capilarul căruia se introduce, deasupra mercurului, un gaz inert (de exemplu azot) la o presiune de cîteva atmosfere; presiunea ridicată urcă temperatura de fierbere a mercurului. Dacă sticla din care este fabricat termometrul este greu fuzibilă, se pot măsura cu un astfel de termometru temperaturi pînă la 600°, iar dacă aparatul este făcut din cuarț, se pot măsura cu el temperaturi pînă la 750°.

Dintre termometrele cu mercur, vom descrie aici o categorie specială, termometrele cu scară redusă, care interesează mai mult pe medic și pe cercetătorul din domeniul medicinei și biologiei.

8. TERMOMETRELE CU SCARĂ REDUSĂ

Am arătat că termometrele folosite pentru aprecierea unei mici diferențe de temperatură trebuie să aibă fiecare grad divizat în zecimi și chiar sutimi de grad. Astfel, termometrul pentru crioscopie are gradul împărțit în 100 și uneori chiar în 200 de părți; termometrele calorimetrice au fiecare grad divizat în 50 de părți, iar termometrul medical obișnuit are gradul divizat în zecimi de grad.

Din această cauză, termometrele cu scară fracționară trebuie să aibă o lungime neobișnuită, pentru a putea să cuprindă întreaga scară uzuală sau cel puțin distanța fundamentală 0—100°. Pentru a fi mînuit cu înlesnire, un astfel de termometru cu gradele fracționare nu poate cuprinde decît un număr mic de grade; de aceea scara este redusă la limitele dictate de nevoile pentru care este construit aparatul. Aceste termometre se numesc și *termometre fracționare* sau *termometre cu scară redusă*.

Dintre termometrele cu scară redusă vom examina în primul rînd termometrele medicale.

a) **Termometrele medicale** (fig. 113 a) sînt aparate destinate măsurării temperaturii corpului omenesc, în condiții normale sau patologice. Deoarece în stările febrile temperatura corpului trece uneori peste 40° , iar în cele de hipotermie scade sub 36° , termometrul medical este gradat între 34 și 43° , fiecare grad fiind divizat în zecimi de grad.

Termometrul medical are drept corp termometric mercurul. Pentru a îndeplini condiția de exactitate, tubul capilar are lumenul foarte mic; astfel se compensează faptul că volumul rezervorului nu poate fi prea mare, căci trebuie să poată încăpea cu ușurință în cavitățile corpului unde se ia temperatura. Deși mercurul este opac, totuși coloana din capilar, fiind foarte subțire, se vede cu greutate. Pentru a nu complica citirea temperaturii prin folosirea unei lupe, se dă capilarului forma de lentilă cilindrică convergentă. Prin această construcție se obține o imagine lătită a coloanei capilare de mercur și se poate urmări cu ușurință nivelul la care a ajuns. Secțiunea unui astfel de tub termometric este redată în fig. 113 (b).

Pe de altă parte, pentru ca citirile să fie exacte, trebuie ca mercurul din termometru să nu coboare cînd îl scoatem din regiunea în care am luat temperatura, ci să rămînă mai multă vreme la nivelul atins. Termometrul medical este un termometru de maximă, mercurul oprindu-se la temperatura maximă a corpului spre a putea fi citit de medic sau de auxiliarul sanitar și citiva timp după luarea temperaturii.

În acest scop, tubul capilar are o gîtuitură imediat deasupra rezervorului cu mercur. La încălzire, mercurul din rezervor, dilatîndu-se prin energia termică căpătată, învinge gîtuitura și trece în capilar; la răcire, contractarea nu mai este suficientă pentru a învinge acest obstacol, așa că mercurul de sub gîtuitură se contractă și se rupe de coloana din capilar, care rămîne acolo și arată temperatura maximă măsurată. De fapt, și această coloană din capilar se contractă, dar contractarea aceasta este neglijabilă, dată fiind cantitatea mică de mercur aflată în capilar deasupra gîtuiturii.

Temperatura se ia de cele mai multe ori în axilă (temperatura axilară). Pentru a avea o măsurătoare justă, se procedează astfel: se readuce în rezervor coloana de mercur rămasă în capilar de la o măsurătoare precedentă; aceasta se face printr-o scuturare în direcția rezervorului sau ținînd termometrul între degetul gros și arătătorul mîinii drepte cu rezervorul în jos și dîndu-i o ușoară scuturătură, lovind mîna dreaptă în mîna stîngă, ori făcînd o rotație mare a brațului, pentru ca, în virtutea inerției, în primul caz, din cauza forței centrifuge, în cazul rotirii, mercurul din tubul capilar să revină în rezervor.

Termometrul se ține 8—10 minute, se citește indicația și eventual se repune pentru 2—3 minute; dacă indicația s-a modificat, se mai fac două

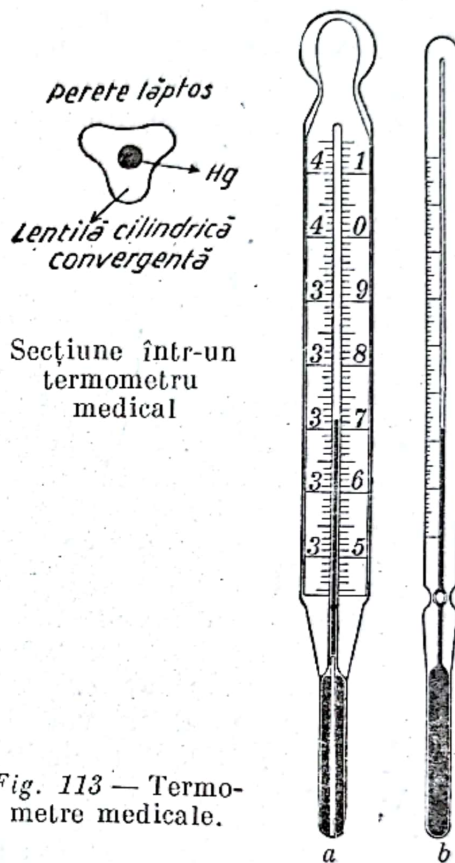


Fig. 113 — Termometre medicale.

lecturi succesive, la intervale de 1—2 minute, pînă se obține o indicație constantă.

Uneori se ia temperatura bucală, așezîndu-se rezervorul termometrului sub limbă. Cea mai corectă măsurare a temperaturii corpului este cea făcută în rect sau în vagin, și numai acestea pot fi considerate ca riguros corespunzătoare temperaturii centrale a corpului; cea bucală sau axilară este adesea aproximativă.

Indicațiile termometrice sînt deosebit de însemnate pentru medic, atît din punct de vedere diagnostic, cît și pentru mersul și prognosticul bolii.

La unele termometre folosite în medicină și în biologie, rezervorul are o formă specială pentru a se putea adapta mai bine regiunilor a căror temperatură se examinează. Astfel, pentru determinarea temperaturii cutanate se utilizează un termometru al cărui rezervor este format dintr-un tub spiralat într-un singur plan, de obicei perpendicular pe tubul termometric. În modul acesta, suprafața de contact dintre rezervorul cu mercur și regiunea cutanată este mare, ceea ce face ca ambele condiții calitative ale termometrului, precizia și sensibilitatea, să fie în bună parte întrunite. Un astfel de termometru dă indicații exacte, în fracțiuni de grad, și intră relativ repede în echilibru termic cu regiunea cutanată studiată. Trebuie să se țină seamă că această regiune cedează repede mediului ambiant căldura sa, și deci temperatura ei este deosebită de cea a celorlalte părți ale corpului omenesc.

Pentru luarea temperaturii globului ocular se întrebuintează un termometru confecționat special în vederea scopului urmărit.

b) Termometrul Beckmann. Termometrul Beckmann este un termometru cu scară fracționară. El este utilizat îndeosebi în determinări crioscopice și calorimetrice, unde trebuie determinate deseori variații de temperatură de ordinul sutimii de grad. Domeniul de măsurare al acestui termometru este redus, dar nu limitat ca la termometrul medical, între anumite temperaturi. De aceea, construcția termometrului Beckmann este astfel realizată încît prin variația cantității de mercur din

Fig. 114
Termometru Beckmann.

rezervor să se poată determina pentru fiecare caz în parte domeniul de lucru în intervalul căruia termometrul să poată reda temperatura în fracțiuni de grad (fig. 114).

Termometrul Beckmann, numit și termometrul metastatic, are tubul termometric divizat numai în 5 grade, dar fiecare grad este divizat în zece zecimi de grad și fiecare zecime în cîte zece sutimi de grad. Între două sutimi de grad vecine, intervalul este încă suficient de mare pentru a se putea aprecia aflarea nivelului la o jumătate de sutime de grad, deci se poate evalua o diferență de temperatură de $0,005^{\circ}$.

Acest termometru are două rezervoare: unul A, în partea inferioară, și unul B, în partea superioară; tubul capilar divizat în sutimi de grad are la partea superioară o curbă. Dacă vrem să facem o determinare de temperatură de mare precizie, de exemplu în jurul temperaturii de 15° , introducem termometrul Beckmann cu rezervorul inferior într-un vas cu un lichid cu temperatura de 20° , a cărui temperatură a fost determinată cu un termometru obișnuit. Mercurul din rezervorul inferior se dilată, străbate capilarul și intră în rezervorul superior. Cînd se constată stabilirea echilibrului termic al termometrului Beckmann cu apa care are temperatura de 20° , se dă o ușoară lovitură rezervorului superior al termometrului, coloana

de mercur se rupe și prisosul de mercur rămâne în rezervorul superior. Scoțind termometrul din baia cu temperatura de 20° și ținându-l într-o încălț cu temperatura, de exemplu, de 15° , mercurul din rezervorul inferior se contractă și coloana de mercur din capilar va arăta temperatura pe care o indică termometrul din încălțta respectivă. Avem astfel ca punct de pornire, de exemplu, 15° , diviziunea la care s-a oprit mercurul. Avem astfel un termometru cu scară redusă, pentru temperaturile dintre 15 și 20° , și care indică sutimile de grad. Dacă avem nevoie într-o altă cercetare de determinarea unei temperaturi aflată între 25 și 30° , readucem prin răsturnare mercurul din rezervorul *B* în rezervorul *A* și reîncepem etalonarea, folosind însă de data aceasta două băi care au temperaturile de 25 și de 30° .

Fără acest artificiu, care permite reducerea scării, un astfel de termometru cu scară fracționară trebuie să aibă tubul lung de câțiva metri, ori trebuie să avem o serie întreagă de termometre cu scară redusă, fiecare etalonat pentru cîte un interval, de exemplu de 5° ($5-10$, $10-15$, $15-20$ etc.).

Verificarea termometrelor de sticlă cu lichid. Termometrele suferă, cu timpul, unele modificări. Astfel, după cîtva timp, în urma modificărilor lente în structura sticlei, capacitatea rezervorului se micșorează: ținându-l pentru verificare în gheață pisată care se topește, lichidul termometric se va opri deasupra punctului însemnat cu zero; termometrul va indica astfel o temperatură mai ridicată decît cea reală. Deoarece modificarea indicațiilor datorite modificărilor din capilar este neglijabilă, este de-ajuns pentru verificarea termometrului să se determine în majoritatea cazurilor valoarea deplasării punctului zero. Ținînd cîtva timp termometrul în gheață absolut pură și care se topește, se notează temperatura pe care o arată termometrul și, dacă aceasta este mai mare decît zero, se stabilește corecția necesară, scăzîndu-se din indicația termometrului numărul de grade cu care s-a deplasat punctul zero.

Pentru termometrele medicale și, în general, pentru cele cu scară redusă, care nu au punctul zero, se face verificarea prin comparare cu un termometru cu scară completă, verificat și corectat. Verificarea se face introducînd termometrul cu scară redusă într-o baie împreună cu un termometru etalon care a fost corectat mai înainte la o temperatură cuprinsă în scara redusă a termometrului de verificat. După stabilirea echilibrului termic se face lectura simultană a celor două termometre și se stabilește astfel corecția care trebuie adusă termometrului.

9. TERMOMETRELE BAZATE PE DILATAREA CORPURILOR SOLIDE

Aceste termometre sînt de două feluri:

a) Termometrul cu vergea metalică își modifică lungimea din cauza variației temperaturii, mișcă un indicator în fața unui sector, gradat prin comparație; acest termometru este folosit în industrie pentru compensarea influenței temperaturii asupra diferitelor aparate reglatoare automate de temperatură.

b) Termometrul bimetalic este alcătuit din două benzi metalice diferite, lipite între ele pe toată lungimea lor; una din ele are coeficientul de dilatare foarte mare față de cealaltă. Termometrul bimetalic își modifică încovoierea la orice variație sensibilă a temperaturii și capătul său mobil acționează printr-un sistem de pîrghii un indicator în fața unui sector gradat prin comparație. În fig. 115 este redat un termometru bimetalic (termograf) care servește la înregistrarea continuă a variației temperaturii aerului.

10. TERMOMETRUL TERMoeLECTRIC

Termometrele termoelectrice sînt construite pe baza efectului termoelectric. Se sudează două metale diferite în două puncte S_1 și S_2 și se închide un circuit prin galvanometrul G ; dacă se țin apoi sudurile S_1 și S_2 la două temperaturi diferite, apare în circuit un curent electric.

Acest sistem de două metale diferite constituie, în condițiile arătate, un element termoelectric (termoelement, termocuplu sau cuplu termoelectric)

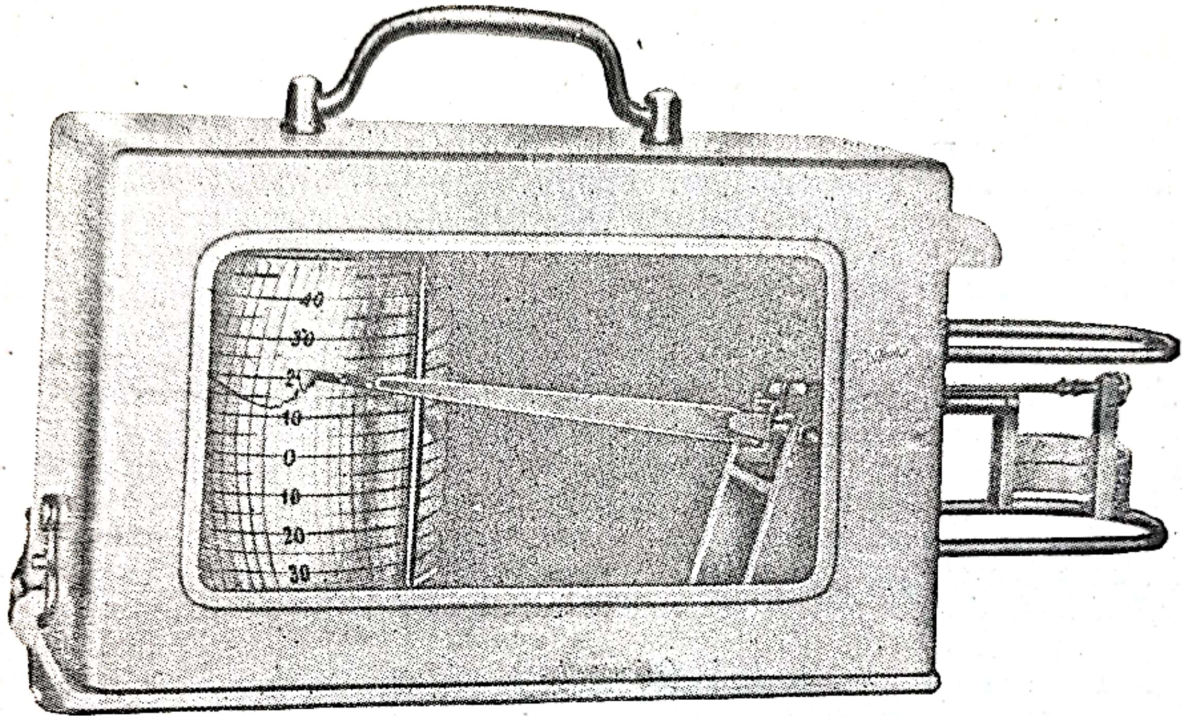


Fig. 115.—Termometru bimetalic Kovo-Praga, pentru înregistrarea continuă a temperaturii aerului.

(fig. 116). Teoria acestor termoelemente va fi dată în capitolul „Electricitatea”. Diferența de potențial care se stabilește la un cuplu termoelectric este funcție de diferența de temperatură $t_2 - t_1$:

$$E = k (t_2 - t_1), \quad (1)$$

unde k este constanta termoelectrică a termocuplului, care se determină dînd diferenței $t_2 - t_1$ valoarea 1, adică ținînd cele două suduri la două temperaturi care diferă între ele cu 1° ; în acest caz, $E = k$.

Din formula (1) avem

$$t_2 - t_1 = E/k,$$

de unde rezultă că dacă cunoaștem pe k , adică constanta termocuplului, putem avea diferența $t_2 - t_1$, fie măsurînd direct pe E cu un voltmetru, fie măsurînd cu un ampermetru intensitatea curentului I , care este proporțională cu E . Tabele speciale cuprind valorile lui k la diferite temperaturi.

Cele mai bune termoelemente dau însă o forță electromotoare foarte mică, de cîțiva microvolți. De aceea, pentru a măsura diferențe mici de temperatură, se asociază în serie mai multe termoelemente. Forța electromotoare crește astfel proporțional cu numărul cuplurilor termoelectrice legate în serie.

Fiind construite din metale și uneori din unele substanțe cu însușiri metalice, rezistența termocuplurilor este mică, astfel că pentru a fi sensibile se folosesc galvanometre cu un circuit foarte puțin rezistent. Helmholtz, cu o serie compusă din 16 termoelemente formate din bismut și antimoniu, a putut aprecia pînă la $1/4\ 000^\circ$.

Pentru temperaturi înalte sînt folosite cupluri termoelectrice constituite din metale greu fuzibile, și anume, dintr-un fir de platină pură sudat de un fir de aliaj de platină care conține 10% rodiiu. Sudura este introdusă în incinta a cărei temperatură trebuie determinată. Mai poate fi folosit și termocuplul format din platină și platină iridiată. Gradarea acestor termocupluri se face cu mijloace calorimetrice.

Pentru măsurarea temperaturii într-un punct al unui corp, se folosește cuplul termoelectric format din fier-constantan: una din suduri este menținută la o temperatură constantă (de exemplu, într-un vas cu gheață care se topește), iar cealaltă sudură se așază în contact cu punctul a cărui temperatură se caută. Diferența de potențial este dată de diferența de temperaturi; cum una din temperaturi (t_1) este 0° , diferența de potențial dă direct temperatura celeilalte suduri (t_2).

Acul termoelectric. Acul termoelectric este un aparat folosit în fiziologie și în medicină; el este construit ca și celelalte cupluri termoelectrice. Mai întrebuintat este acul termoelectric al lui d'Arsonval, alcătuit dintr-o pereche de tuburi de platină de diametru mic și ascuțite la vîrf; în interiorul fiecărui tub este sudat un fir de fier. Această construcție evită producerea unor curenți electrici care ar putea lua naștere prin acțiunea chimică a lichidelor biologice din țesuturi asupra ambelor metale deodată.

Dacă acul termoelectric nu este gradat dinainte, temperatura într-un anumit punct se determină astfel: una din suduri este menținută la o temperatură cunoscută, de exemplu la 0° , iar alta este adusă mai întii la temperatura X a punctului cercetat, și apoi într-o baie a cărei temperatură se poate modifica pînă atinge temperatura la care deviația indicatorului galvanometrului este aceeași ca și în punctul cercetat. Temperatura astfel obținută a băii, măsurată cu un termometru de precizie, arată temperatura punctului X .

11. TERMOMETRE CU REZISTENȚĂ

Rezistența electrică a metalelor variază cu temperatura, după relația

$$R_t = R_0 (1 + kt).$$

În practică se folosește o panglică de platină a cărei rezistență variază cu temperatura și care alcătuiește una din cele patru rezistențe ale unei punți Wheatstone. Încălzirea uneia din rezistențe modifică echilibrul punții; variația rezistenței, care ia naștere prin încălzire, se măsoară după metodele expuse în capitolul „Electricitate”; de aici se deduce temperatura corespunzătoare.

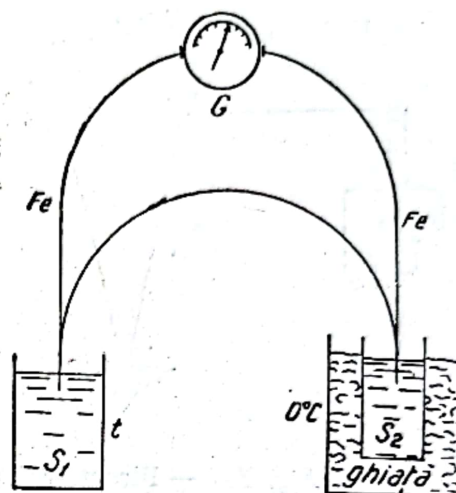


Fig. 116 — Schema termometrului termoelectric.

Aceste aparate sînt utilizate pînă la -150° ; sub această temperatură, dependența dintre rezistență și temperatură nu mai este liniară, adică, în acest domeniu de temperaturi, rezistența electrică a metalelor nu mai descrește proporțional cu coborîrea temperaturii; în vecinătatea lui zero absolut apare fenomenul de supraconductibilitate, rezistența căzînd brusc pînă la o valoare aproape nulă.

12. PIROMETRUL OPTIC

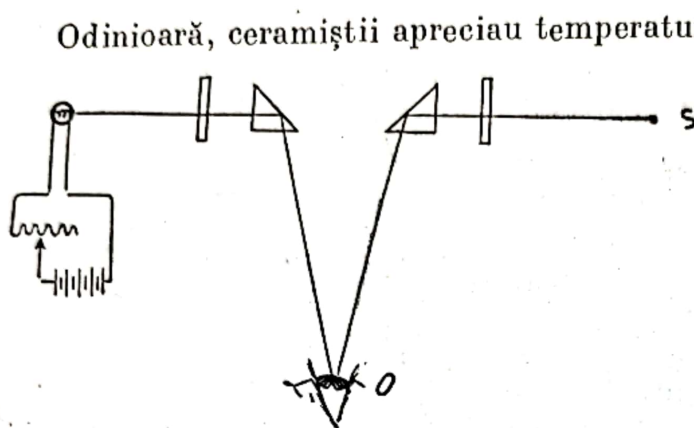


Fig. 117 — Pirometrul optic

Odinioară, ceramiștii apreciau temperatura cuptoarelor lor după culoarea luminii emise de cup-torul încins. În baza expe-rienței s-a stabilit o scară a culorilor legată de tem-peraturile corespunzătoare.

Începutul înroșirii ..	525°
Roșu-închis	700°
Roșu-aprins	800°
Portocaliu-deschis ..	1200°
Alb-strălucitor	1500°
Albastru-violet ..	2500°

În practică se lucrează cu o singură radiație, ob-ținută cu ajutorul unei sticle roșii de la sursa de cercetat și care se compară cu o sursă de temperatură cunoscută, observată în aceleași condiții. Un dispo-zitiv potrivit este cel din fig. 117, care folosește lungimea de undă $\lambda = 6500 \text{ \AA}$; aceasta se obține de la un bec electric cu filament de tungsten, a cărui inten-sitate luminoasă poate fi variată cu ajutorul unui reostat pînă ce imaginea filamentului privită cu ajutorul unei prisme cu reflecție totală se suprapune peste imaginea sursei de cercetat și are aceeași culoare. Acest pirometru optic este folosit la temperaturi mai mari de 1500° , putîndu-se evalua cu o aproximație de 1° temperaturile pînă la 2000° și cu o aproximație de 5° pînă la 2500° . Cu ajutorul măsurărilor optice s-a putut aprecia temperatura fotosferei solare (5500°) și a diferitelor stele ($3000-30000^{\circ}$).

III. CĂLDURA ANIMALĂ

A. ORIGINEA CĂLDURII ANIMALE

Izvorul cel mai important de energie din corpul animalelor îl constituie procesele de oxidare din organism.

La sfîrșitul secolului XVIII-lea, Lavoisier a arătat că gazul care rezultă din arderea unui combustibil este identic cu cel eliminat prin respirație: bioxidul de carbon. Ipoteza că procesul respirației este legat de ardere pro-duse în organism a fost demonstrată de Lavoisier pe cale calorimetrică. El a măsurat cantitatea de căldură rezultată din arderea cărbunilor și trans-formarea acestora în bioxid de carbon cu ajutorul oxigenului, precum și cantitatea de căldură care rezultă din respirația unui cobai ținut în calori-metru și care consumă prin respirație oxigen, eliminînd bioxidul de carbon. Cercetările au arătat că cantitatea de căldură dată de cobai este aceeași

ca aceea dată de arderea cărbunelui dacă cantitatea de bioxid de carbon produs de combustie este egală cu cea expirată de cobai. Lavoisier a formulat rezultatele acestor cercetări astfel: „respirația este o ardere lentă“.

Mai târziu, Berthelot a întărit această ipoteză, scăzând însă din căldura de combustie, produsă în organismul animal, pe cea de excreție.

B. TEMPERATURA CORPULUI OMENESC

Temperatura corpului omenesc se măsoară cu ajutorul termometrului medical, așa cum s-a arătat la descrierea acestuia.

La omul normal, valorile medii indicate de numeroși experimen-tatori și profesioniști este de 37° pentru temperatura axilară și de $37,5^{\circ}$ pentru temperatura rectală.

Temperatura corpului omenesc variază cu vârsta; la naștere, copilul are o temperatură rectală medie de $38,8^{\circ}$,

deci mai mare decât a mamei. În prima zi, temperatura coboară pînă la $36,6^{\circ}$, apoi crește pînă la $37,6^{\circ}$, menținindu-se timp de cîteva zile la această valoare, care este ceva mai mare decât temperatura adultului.

Temperatura corpului omenesc prezintă o oscilație diurnă cu o amplitudine de aproximativ 1° . Temperatura minimă rectală de $36,5^{\circ}$ se înregistrează pe la orele 4 dimineața, iar cea maximă ($37,5^{\circ}$) spre orele 16. Măsurînd din oră în oră temperatura corpului și transpunînd aceste valori pe un grafic (fig. 118), obținem curba temperaturii rectale în 24 de ore. Această oscilație a temperaturii organismului este în funcție de activitatea musculară și nervoasă: temperatura crește în perioada de activitate maximă (ziua) și scade în decursul repausului (noaptea). O verificare o constituie faptul că, la oamenii a căror muncă se desfășoară noaptea, variația termică diurnă se produce astfel încît temperaturile maxime se observă la orele 4 dimineața, iar cele minime spre orele 16.

Un surplus de muncă fizică sau intelectuală produce o ridicare a temperaturii corpului. După o oră de mers rapid, temperatura axilară crește cu aproape 1° , iar după o oră de activitate intelectuală, temperatura se urcă cu o zecime de grad.

Temperatura corpului omenesc este influențată și de temperatura exterioară, fie a incintei de muncă, fie cea datorită condițiilor geografice. Astfel, locuitorii din ținuturile tropicale au o temperatură rectală de 38° , deci superioară celei a locuitorilor din regiunile temperate, pe cînd cei din regiunile nordice au temperatura rectală medie de $36^{\circ},5$.

Variațiile de temperatură examinate mai înainte, și cuprinse aproape totdeauna între 36 și 38° , sînt cuprinse în cadrul fiziologic normal. O temperatură axilară mai mică de 36° sau mai mare de 37° trădează o stare anormală a organismului și prezintă pentru medic un element de orientare și diagnostic.

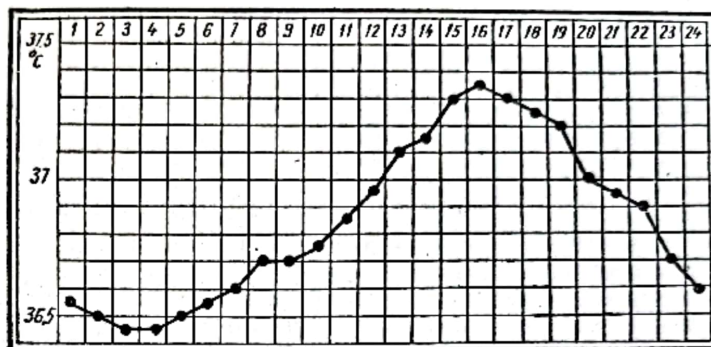


Fig. 118 — Graficul temperaturii rectale în 24 de ore.

În diferitele stări patologice se observă oscilații mari: temperaturi extreme de 34° pentru hipotermii și 46° pentru hipertermii, fără deznodământ letal. În cazurile morbide interesează însă nu numai temperaturile maxime, ci și amplitudinea oscilațiilor termice, care poate atinge 3—4 și chiar 5° .

În mod normal, corpul omenesc își poate menține temperatura aproape constantă chiar dacă mediul ambiant are o temperatură variabilă; aceasta se realizează cu ajutorul unor mecanisme fiziologice termoreglatoare.

C. TERMOREGLAREA

În stadiul actual al cunoștințelor, căldura animală este considerată ca rezultanta echilibrului dintre procesul de producerea energiei termice în organism și pierderile de căldură care se produc prin radiație, prin evaporarea apei la nivelul pielii, precum și prin evaporare la nivelul mucoasei pulmonare.

Dintre factorii care asigură unui animal constanța mediului intern face parte și menținerea echilibrului termic în diferite condiții, prin procesul cunoscut sub denumirea de termoreglare.

Termoreglarea este una din achizițiile cele mai târzii ale dezvoltării în scara animală. Din acest punct de vedere, animalele se împart în două mari categorii:

a) **Animalele homeoterme** al căror corp are proprietatea de a-și menține temperatura constantă indiferent de variațiile de temperatură ale mediului extern; acestea sînt mamiferele și păsările, numite impropriu animale cu „sînge cald“.

b) **La toate celelalte nevertebrate și vertebrate** temperatura corpului urmează variațiile de temperatură ale mediului. Temperatura lor este mai ridicată în anotimpul cald decît în cel rece. Aceste animale se numesc *heteroterme* sau *poikiloterme*. Denumirea de animale „cu sînge rece“ dată acestei categorii este improprie, fiindcă temperaturile corpului, și deci și ale sîngelui lor, pot fi mai ridicate decît ale mamiferelor într-o zi foarte caldă. Faptul că temperatura corpului acestor animale este apropiată de cea a mediului extern se datorește lipsei procesului de termoreglare.

TERMOREGLAREA LA HOMEOTERME

Menținerea temperaturii corpului homeotermelor la o valoare practic constantă, indiferent de temperatura scăzută sau ridicată a mediului extern, dovedește existența unui mecanism fiziologic termoreglator la aceste animale.

Corpul homeotermelor dispune de două mijloace pentru a-și menține constantă temperatura corpului:

- a) reglarea producerii de căldură, care are la bază un proces chimic și
- b) reglarea pierderii de căldură, care este un proces fizic.

Aceste două procese se desfășoară după raportul dintre temperatura organismului și cea a mediului.

1. Cînd ambianța are temperatura apropiată de cea a corpului, pierderile de căldură ale corpului, adică cedarea de căldură prin radiație către mediul înconjurător și transmiterea directă a căldurii spre primele straturi de aer de lîngă corp, se compensează prin furnizare de căldură de către arderile din organism.

2. În mediile cu temperatură mai scăzută decât cea a organismului, homeotermele au o rezistență termică mare. În regiunile polare, animalele și omul rezistă perfect la temperaturi de -40 și chiar -50° . Organismul luptă pe două căi împotriva frigului: pe cale fizică și pe cale chimică. Întrucît 70—80% din căldură se pierde prin radiație și transmitere, singura apărare a organismului este micșorarea irigației pielii. În adevăr, se produce o vasoconstricție, și deci pielea este mai puțin irigată; căldura din corp vine mai puțin la periferie, pielea se răcește și deci radieră căldurii se micșorează. Dovada modificării în irigația periferică o constituie paloarea pielii. Această modificare a circulației se produce prin influențe nervoase asupra vaselor, exercitate de centrul vasoconstrictor din bulb.

Pierderile de căldură prin radiație sînt micșorate la animalele cu blană datorită blănii lor. La mamiferele de apă (foci, morse, balene, elefanți de mare etc.), stratul de grăsime subcutanată împiedică pierderile de căldură. Oamenii luptă contra frigului cu ajutorul hainelor îmblănite.

În afară de aceste mijloace fizice, organismul luptă împotriva frigului prin intensificarea combustiei, pentru producere de căldură în cantitate mai mare. Această intensificare s-a verificat experimental, așezînd un cobai sub un clopot la temperatura de 30° , și în care se aflau aparatele necesare dozării bioxidului de carbon expirat; după o primă dozare a bioxidului de carbon produs de animal, înconjurînd clopotul cu apă rece sau cu un amestec frigorifer, se constată că, dacă în clopot temperatura este de 0° , se culege de trei ori atît bioxid de carbon decît la 30° , în același interval de timp (30 de minute).

3. Într-o ambianță cu temperatură ridicată au loc fenomene inverse celor descrise pînă acum. Corpul luptă prin diferite mijloace împotriva excesului de căldură, care poate fi datorit, fie temperaturii ridicate a mediului fie unei combustii excesive în organism datorită unor munci fizice neobișnuite, febrei etc. În primul rînd are loc o vasodilatație periferică ce aduce un aflux de sînge cald la periferie și, dacă temperatura exterioară deși ridicată, nu atinge temperatura corpului, radiația de căldură din partea pielii se intensifică mult. Dacă mediul extern este mai cald decît corpul omul și animalele care au glande sudoripare transpiră prin piele; se mai elimină apa și prin mucoasele pulmonare. Homeotermele care nu au glande sudoripare, cum ar fi cîinele, elimină apă prin plămîn și secretă o mare cantitate de salivă diluată, care se evaporă prin trecerea aerului prin gură; la aceste animale are loc o polipnee termoreglatoare; crește ventilația pulmonară și evaporarea apei prin plămîn se face mai intens. Chiar la o temperatură scăzută, omul pierde în 24 de ore o cantitate de 300—400 ml apă prin evaporare o dată cu aerul expirat, care uneori este saturat cu vapori pînă la 95—98%.

Prin evaporarea apei este frînată la homeoterme ridicarea temperaturii corpului. Răcirea are o valoare mare, fiindcă evaporarea unui gram de apă absoarbe aproape 580 de calorii mici (căldura latentă de evaporare a apei este de 537 cal/g). Un calcul pentru concretizarea ideilor arată că, dacă un om pierde în 24 de ore un litru de apă prin evaporare cutanată și pulmonară, ceea ce într-o zi de mare căldură sau într-un mediu de muncă foarte încălzit este foarte posibil, el pierde aproape 600 kcal, adică atîta căldură cît ar fi necesară să facă să fiarbă 6 litri de apă cu temperatura de 0° .

Într-un mediu încălzit, evaporarea este favorizată și de starea de uscăciune a aerului. Temperatura de 40° este mai ușor suportată într-un aer uscat decît cea de $25-30^{\circ}$ într-un aer saturat cu vapori. Cazurile de insolație

se observă mai ales în zilele calde în care umiditatea aerului este foarte ridicată. Se citează în literatură cazuri când oamenii au putut rezista timp de 10—15 minute la o temperatură de 130° într-un mediu uscat. Într-un mediu cald și umed, evaporarea se micșorează, fiindcă este proporțională cu diferența dintre tensiunea maximă a vaporilor de apă la temperatura considerată și tensiunea vaporilor din aer. Într-un aer saturat cu vaporii, când deci tensiunea acestora este maximă, evaporarea este imposibilă. În acest caz, termoreglarea nu se poate face. La cei care muncesc într-un mediu cald se produce o eliminare de apă prin sudore, care poate atinge 6—10 și chiar 12 litri în 24 de ore.

Mișcarea aerului, ventilația, curentul, vântul, reînnoiesc aerul și înlesnesc evaporarea la nivelul pielii, ușurând pierderile de căldură.

D. DETERMINAREA PIERDERILOR DE CĂLDURĂ

În igiena muncii, în terapeutică (actinoterapie), în igiena generală, apare necesar studiul acțiunii asociate a tuturor factorilor de mediu; în cadrul acestei acțiuni, pierderea de căldură având un rol însemnat, determinarea ei capătă o importanță deosebită.

Pentru a putea trata acest capitol mai amănunțit, trebuie să revedem fenomenele privind conductibilitatea termică și îndeosebi cele privind răcirea prin radiație.

1. CONDUCTIBILITATEA TERMICĂ

Am arătat că propagarea căldurii se face în corpurile solide prin trecerea ei de la un strat elementar la altul vecin; în corpurile lichide, transmiterea se face prin convecție, adică prin curenți, iar prin gaze se face, atât prin convecție, cât și prin radiație.

Conductibilitatea termică a corpurilor solide se poate examina la un corp omogen de grosime L (fig. 119), ale cărui fețe paralele, A și B , au temperaturile T_1 și T_2 ; se demonstrează că temperaturile diferitelor secțiuni intermediare sînt constante, deci că regimul termic este permanent.

Căderea de temperatură pentru grosimea L fiind $T_1 - T_2$, vom avea pentru unitatea de grosime căderea $\frac{T_1 - T_2}{L}$, așa că, la o distanță oarecare X față de A , temperatura care a străbătut corpul prin conductibilitate va fi:

$$T_x = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{L} X$$

Fig. 119 — Propagarea căldurii prin conductibilitate.

fiecare secțiune primind dinspre fața A atîta căldură cîtă transmite spre fața B .

Cantitatea de căldură care traversează fiecare secțiune S pe secundă va fi:

$$Q = kS \frac{T_1 - T_2}{L},$$

unde k este coeficientul de conductibilitate.

Dacă alegem astfel diferitele mărimi încît

$$T_1 - T_2 = 1; L = 1 \text{ și } S = 1, \text{ vom avea } k = Q,$$

adică: coeficientul de conductibilitate termică k al unei substanțe este egal cu cantitatea de căldură care traversează, în unitatea de timp, unitatea de suprafață a unui corp în grosime de 1 cm, care are între fețele opuse diferența de temperatură de 1° .

După cum k are valoare mai mare sau mai mică, corpul se numește bun conducător de căldură sau termoconductor (de exemplu: $\text{Cu} = 1,0405$ $\text{Ag} = 1,3172$) ori rău conducător de căldură sau termoizolant (de exemplu: sticla 0,005 parafina 0,0004).

La lichide, transmiterea căldurii se face prin convecție (prin curenți moleculari), iar la gaze, în afară de fenomenul de convecție, există transmiterea căldurii prin radiație (care este un fenomen ondulator).

2. TRANSMITEREA CĂLDURII PRIN RADIAȚIE

După cum vom vedea la studiul general al radiațiilor, radiațiile calorice, care se integrează și ele, în raport cu lungimea lor de undă, în seria radiațiilor energetice, se propagă prin unde. Astfel, tot așa cum ne vin radiații luminoase de la distanțe imense, de la stele și de la Soare, vin pe Pământ și radiații calorice din spații interastrale, de la Soare, stele etc.

Printr-o experiență de laborator se poate arăta că radiațiile calorice pot străbate un spațiu fără aer; în acest scop se folosește un termometru sudat într-un balon astfel încît rezervorul să se afle în regiunea centrală a acestuia, iar tija în afară; din balon, se scoate aerul. Așezînd balonul lângă un izvor de căldură, radiațiile străbat prin peretele balonului, traversează spațiul fără aer și încălzesc mercurul termometrului, ridicîndu-i temperatura.

În trecerea lor prin diferite medii, radiațiile calorice sînt mai mult sau mai puțin absorbite, în funcție de mediul pe care-l traversează. Aerul curat și uscat are putere de absorbție mică; ea se mărește prin creșterea cantității de umiditate din atmosferă. Norii împiedică radiația. Faptul că radiațiile calorice ale Soarelui ajung la Pământ fără a încălzi sensibil aerul se poate verifica într-o zi de iarnă geroasă, dar însorită.

În general, pămîntul absoarbe radiațiile calorice solare și le retransmite prin radiație cu atît mai puțin intens cu cît distanța de transmitere este mai mare: vara, la nivelul mării, adică la nivelul general al pămîntului, unde se absorb majoritatea radiațiilor solare, este cald, în timp ce în aceeași regiune și în același timp, pe munte, este frig; aceasta se datorește faptului că radiațiile calorice locale emise de pămînt sînt slabe, iar cele generale ale regiunii ajung cu intensitatea scăzută la înălțimea muntelui. Pe podisuri întinse, chiar de altitudine mai mare, fenomenul este mult mai atenuat și se apropie de cel de la nivelul mării.

3. RĂCIREA PRIN RADIAȚIE

Dacă notăm coborîrea de temperatură prin radiație cu dQ , observată într-un timp foarte scurt dt , viteza de răcire este

$$v = \frac{dQ}{dt}.$$

Pentru o diferență de temperatură între mediu și corpul radiant de maximum 30° , așa cum sînt cazurile care se întîlnesc de obicei în biologie și medicină, este valabilă legea descoperită de Newton și formulată astfel: viteza de răcire V_r a unui corp prin radiație este proporțională cu suprafața S expusă răcirii, cu coeficientul k de răcire, de care depinde capacitatea emisivă a lui S și cu diferența de temperatura $T - t$ dintre corpul radiant și incinta în care se află

$$V_r = kS (T - t).$$

Un subiect expus radiațiilor termice, fie ele ale Soarelui (în actinoterapie), fie radiațiilor focarelor de cazan (în industrie și în transporturi), se încălzește pe de o parte prea tare, în timp ce este expus răcirii pe de altă parte. Apare deci nevoia creării unor condiții termice astfel ca să se evite excesul de încălzire și cel de răcire; aceasta a dus la stabilirea unor metode pentru determinarea pierderilor de căldură prin radiație, convecție, evaporare etc.

4. APARATE DE MĂSURAT PIERDERILE DE CĂLDURĂ

După cum reiese din formula de mai sus, răcirea corpului este proporțională cu temperatura aerului; determinarea acestei temperaturi în condițiile arătate, la soare sau lîngă un dispozitiv care radiază căldură, se face greu cu ajutorul termometrului obișnuit. Dintre aparatele construite pentru pierderea de căldură, studierea și determinarea coeficientului de răcire cităm: heliometerul, catatermometrul, frigometrul etc.

a) **Heliometerul** este un aparat construit în principiu dintr-o sferă goală S (fig. 120), de aramă sau de alamă, cu diametrul de 8–10 cm, și avînd grosimea peretelui de 1 mm; sfera este înnegrită pe dinafară, prin oxidare. În interiorul sferei se află un termometru cu mercur, astfel ca rezervorul să se afle cam în regiunea centrului sferei, iar coloana gradată să iasă în parte afară din sferă pentru a permite citirea temperaturilor fără deplasarea termometrului.

Expus la soare (helios = soare), aparatul se încălzește; mercurul termometrului se urcă în momentul cînd atinge un anumit echilibru termic, care depinde de intensitatea radiației izvorului de căldură, precum și de valoarea pierderilor de căldură prin curenții de aer și temperatura mediului ambiant.

În helioterapie (băi de soare), dacă heliometerul arată 20° , subiectul trebuie apărut cu grijă contra frigului, și expunerea la soare trebuie să se facă pe o terasă însoțită, însă închisă cu geamuri. Dacă heliometerul arată 35° , condițiile sînt optime pentru cura de helioterapie în plin aer liber. Dacă însă heliometerul arată 50° , cum se întîmplă unori într-o sală de cazane, condițiile de lucru sînt nocive. Etalonat după un indice complex care corespunde nevoilor organismului, heliometerul dă astfel ușor și practic indicații privitoare la consumul și pierderea de energie termică a organismului.



b) Catatermometrul (fig. 121) este un termometru cu un rezervor mare *A*, de volum și suprafață cunoscute, și un rezervor mai mic *D*, aflat în partea superioară a termometrului și legat de rezervorul *A* printr-un tub capilar termometric. Pe tub se află două repere, distanțate între ele cu 8 cm, aparatul fiind calculat astfel încât reperul superior să arate 38° , iar cel inferior 35° .

Pentru a face determinarea, se introduce catatermometrul într-un vas cu apă a cărei temperatură este de 40° , măsurată cu un termometru obișnuit. Mercurul din rezervorul inferior *A* se dilată, umple capilarul și trece parțial în rezervorul superior *D*. Se scoate aparatul din apa caldă, se șterge repede, pentru ca să nu se producă răcirea rezervorului *A* prin evaporarea apei de pe el, și se observă coborîrea mercurului în catatermometrul expus răcirii în incinta unde vrem să determinăm viteza derăcire. Când nivelul mercurului în curs de contractare a ajuns în punctul *C* (reperul de 38°), se pornește cronometrul și se măsoară timpul necesar ajungerii mercurului până la nivelul *B* (reperul de 35°). Timpul diferit necesar coborîrii mercurului de la 38° la 35° este datorit condițiilor termice ale mediului ambiant și măsoară intensitatea răcirii mercurului din rezervor, în acel mediu.

Suprafața și volumul rezervorului de mercur fiind cunoscute, răcirea este dată în milicalorii pe cm^2 și secundă.

Etalonînd aceste unități de răcire după posibilitățile de acomodare a corpului omenesc, se poate folosi catatermometrul pentru caracterizarea calității termice a unui mediu. Astfel, în localurile de muncă, unii autori indică un coeficient optim de răcire la catatermometru de 5–6 milicalorii pe cm^2 și secundă. Atmosfera devine sufocantă cînd coeficientul coboară la 3 milicalorii/ cm^2 /secundă. În aer liber, pentru cura de soare, indicațiile de 15 milicalorii/ cm^2 /secundă corespund unei senzații de frig.

Rezervorul inferior al catatermometrului se poate acoperi cu un tifon umed. Viteza de răcire se modifică în acest caz din cauza introducerii elementului de răcire prin evaporare, dar aparatul capătă în plus proprietatea de a arăta influența stării higrometrice a ambianței. În spațiul de muncă, catatermometrul umed poate arăta 18 milicalorii/ cm^2 /sec.

Catatermometrul este un instrument pentru caracterizarea fizică a condițiilor meteorologice ale mediului, fiindcă arată, cu suficientă exactitate puterea de răcire a aerului și reflectă destul de fidel, printr-un indice complex, totalitatea diferiților factori meteorologici interdependenți de care avem nevoie în anumite împrejurări.

E. METODE PENTRU UN REGIM OPTIM AL CĂLDURII ANIMALE

Pentru a asigura un regim optim utilizării căldurii animale, omul a utilizat din cele mai vechi timpuri îmbrăcămintea, sub diferitele ei forme. Ea are un rol important în apărarea corpului, atît contra hipo-, cît și contra hipertermiei.

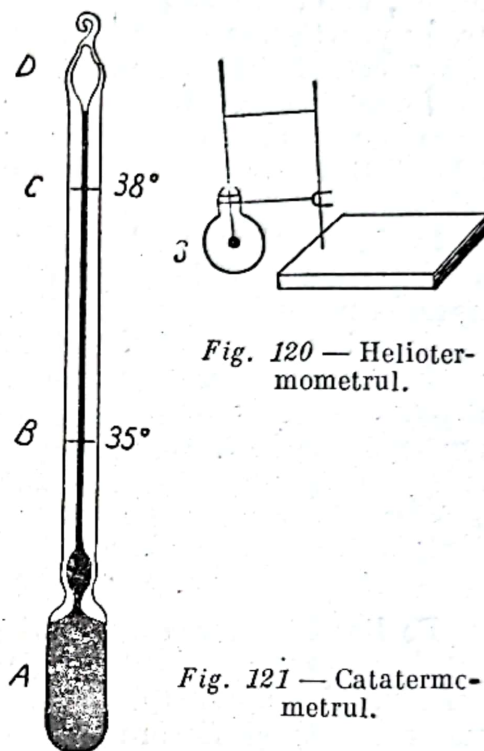


Fig. 120 — Heliometerul.

Fig. 121 — Catatermometrul.

1. HAINELE

Țesăturile folosite la confecționarea hainelor cuprind între fibrele lor (ca și blana mamiferelor și penele păsărilor, între firele de păr sau de puf) o cantitate de aer care constituie un strat rău conducător de căldură. Aceasta micșorează pierderile de căldură prin radiație și împiedică răcirea corpului omenesc. Hainele de iarnă trebuie să fie deci confecționate din stoffe de lână, dese, groase și afinate în același timp; în anotimpul rece, hainele care se poartă una peste alta (flanelle, haină, palton) închid între ele pături de aer care împiedică radieria căldurii.

Împotriva hipertermiei este nevoie de haine care să favorizeze radiația și evaporarea sudorii; trebuie evitate țesăturile care se îmbibă cu sudoare și împiedică astfel răcirea corpului prin evaporarea apei la nivelul pielii. Hainele de vară trebuie să fie largi, pentru ca aerul să poată circula cu ușurință prin ele. Culoarea hainelor are de asemenea importanță; vara, hainele trebuie să fie de culoare albă sau de culori foarte deschise, care reflectă și difuzează radiațiile calorice din afară, în timp ce hainele de culoare închisă se poartă iarna fiindcă absorb radiațiile și încălzesc corpul.

În afară de aceasta, putem împiedica variația de temperatură a corpului omenesc îndepărtând din jurul lui obiectele care au temperaturi mult diferite de aceea a corpului și care au o putere absorbantă sau radiantă mare (sau să le acoperim cu substanțe având putere absorbantă mică).

2. ZONA DE CONFORT

Pe lângă apărarea corpului prin haine trebuie să menționăm tendința care domnește în prezent în igiena generală de a asigura omului „zona de confort”. O experiență îndelungată a arătat că fiecare climat geografic (macroclimat) și fiecare microclimat (locuință, uzină, laborator, birou, sală de curs, cameră de spital etc.) oferă un ansamblu de condiții care în anumite împrejurări dau organismului o senzație de confort. Această senzație nu este altceva decât o reflectare în simțurile noastre a bunei funcționări a sistemului termoreglator, în urma condițiilor pe care le creăm printr-o temperatură potrivită, o stare higrometrică corespunzătoare și o mobilitate convenabilă a aerului, în locul considerat. Astfel, un om se poate simți bine într-o regiune tropicală sau într-un microclimat industrial cu temperatură ridicată, cu condiția ca aerul să nu fie prea uscat și să se miște cu o anumită viteză.

3. AERUL CONDIȚIONAT

În încăperi sau localuri de activitate colectivă (ateliere, săli de curs, de spectacol, birouri mari, localuri sportive, dormitoare comune, cantine etc.), aerul își schimbă compoziția din punct de vedere chimic, din cauza respirației numeroșilor oameni și se încălzește din cauza căldurii radiate de aceștia; el se încarcă de asemenea cu o cantitate considerabilă de vapori de apă proveniți din respirația celor care se află în încăperile respective.

Pentru a dispune permanent de aer curat, în condiții fizice optime pentru respirație, se aplică metoda de „condiționare a aerului”. O instalație de aer condiționat este alcătuită, în principiu, din aparate de introducere permanentă, prin absorbire, a aerului proaspăt; acesta este trecut prin dispozitive de încălzire (iarnă) și de răcire (vară) pentru a se evita diferențele prea mari dintre temperatura sălii și cea a aerului.

Trecînd prin camere speciale, aerul absorbit capătă umiditatea necesară unei respirații normale.

Astfel condiționat, aerul este introdus prin aparate sau dispozitive speciale în încăperile respective, de unde aerul viciat este eliminat, fie prin diferența de densitate datorită temperaturii căpătate de aerul confinat, fie prin evacuare mecanică.

IV. CALORIMETRIA

Calorimetria este constituită din ansamblul metodelor și procedeelor utilizate în măsurarea energiei termice. Așa cum am mai spus, energia termică este numită și azi, impropriu, „cantitate de căldură”, fiindcă constituie astfel o mărime simplificată, mai lesne de înțeles.

Pentru procesele biologice, cunoașterea cantităților de căldură produse sau consumate este foarte importantă.

În fizică se fac în general măsurători calorimetrice pentru a se determina anumite cantități de căldură: căldura specifică, puterea calorifică a combustibililor, căldura latentă de trecere a corpurilor dintr-o stare de agregare în alta etc.

În calorimetria biologică, căldura determinată cantitativ este legată de activitatea organismului și de nevoile lui; se determină de asemenea pe cale calorimetrică puterea calorifică a principiilor alimentare. În funcție de condițiile în care are loc producerea de căldură biologică, calorimetria biologică își adaptează metodele calorimetriei generale la specificul biologic și medical.

A. NOȚIUNI RECAPITULATIVE DE CALORIMETRIE GENERALĂ

1. CANTITATEA DE CĂLDURĂ

În general, încălzind un corp, energia sa termică se mărește, fiindcă crește energia cinetică a moleculelor corpului.

Cînd energia termică a unui corp crește, se spune că acel corp a absorbit o cantitate de căldură, iar cînd energia termică se micșorează, se spune că corpul pierde o cantitate de căldură. Absorbirea căldurii se manifestă prin ridicarea temperaturii, iar pierderea căldurii, prin coborîrea temperaturii corpului.

2. UNITĂȚI CALORIMETRICE

Unitatea de cantitate de căldură se numește *calorie* (notație: *cal*). Caloria reprezintă cantitatea de căldură absorbită de 1 gram de apă distilată pentru ca temperatura ei să se ridice cu 1° .

Deoarece experiența și calculele arată că, pentru a ridica temperatura unui gram de apă de la 99° la 100° , cantitatea de căldură este diferită de cea necesară ridicării temperaturii aceleiași cantități de apă de la 0 la 1° , se folosește de multe ori în calorimetrie unitatea numită *calorie medie*.

Caloria medie se definește drept o sutime din cantitatea de căldură necesară unui gram de apă distilată pentru ca temperatura ei să se ridice de la 0° la 100° .

În mod convențional se folosește de cele mai multe ori, pentru ca rezultatele să fie comparabile, caloria de 15° , care reprezintă cantitatea de

căldură necesară unui gram de apă distilată pentru a trece de la temperatura $+14,5$ la cea de $+15,5^{\circ}$.

Ca și alte unități de măsură a mărimilor fizice, caloria are multipli și submultipli. Astfel, pentru cantități mai mari se întrebuițează *kilocaloria* (*kcal*) sau caloria mare (numită uneori și calorie-kilogram), care cuprinde o mie de calorii. De multe ori se folosesc denumirile mai vechi de calorie mică pentru caloria obișnuită și calorie mare pentru kilocalorie.

În cercetările biologice și medicale se folosește uneori și submultiplul *milicaloria*, care este a mia parte dintr-o calorië (*mcal*). În tehnică este folosit multiplul *megacaloria* (*Mcal*), care valorează 1 milion de calorii sau 1 000 kilocalorii.

3. CĂLDURA SPECIFICĂ

Expresia fundamentală a calorimetriei se stabilește astfel: dacă un gram dintr-o anumită substanță are nevoie, pentru a-și ridica temperatura cu 1° , de o cantitate de c calorii, o masă de m grame, pentru a-și ridica temperatura cu n grade, va avea nevoie de o cantitate Q de căldură, care are valoarea următoare:

$$Q = m \cdot c \cdot n. \quad (1)$$

În această expresie, care se poate scrie și sub forma

$$Q = p \cdot c (t_2 - t_1), \quad (2)$$

c se numește căldura specifică a substanței respective, p este greutatea substanței cu care s-a lucrat, iar $t_2 - t_1$ reprezintă diferența dintre temperatura finală și cea inițială, adică numărul n de grade cu care substanța s-a încălzit.

Noțiunea de căldură specifică, care reprezintă cantitatea de căldură necesară ridicării cu 1° a temperaturii unității de greutate de substanță, apare pentru prima oară în lucrările fizicianului rus G.V. Rihman (1711-1755), colaboratorul lui Lomonosov.

După definiția dată caloriei, căldura specifică a apei distilate este 1.

Tot așa cum am arătat că în practică este mai exact să se ia ca unitate de măsură caloria medie între 0 și 100° , tot astfel și căldura specifică trebuie să fie o medie, fiindcă se bazează pe valoarea medie a cantităților de căldură măsurate.

Dacă vom considera apa, în teorie, căldura ei specifică medie este raportul dintre cantitatea Q de căldură folosită pentru a ridica temperatura apei de la t° la $t^{\circ} + \Theta$ și această creștere a temperaturii Θ .

$$Q_{\text{mediu}} = \frac{Q}{\Theta}.$$

Dacă Θ este foarte mic, adică tinde către zero, atunci Q_{mediu} atinge o valoare limită, care este valoarea reală a căldurii specifice.

Calculule făcute de Regnault au arătat că, la apă, căldura specifică reală este egală cu unitatea.

4. METODELE CALORIMETRICE

Pentru determinarea căldurii specifice se utilizează metode bazate pe diferite fenomene termice. Dintre ele vom descrie metoda blocului de gheață care prezintă interes istoric și în calorimetria biologică, și metoda ameste-

a) **Metoda blocului de gheață.** Se practică o cavitate într-un bloc mare de gheață curată și, după ce se absoarbe toată apa care a rămas pe pereții cavității, se introduce în această cavitate un corp solid de greutate cunoscută P și de temperatură cunoscută t° . Se acoperă blocul de gheață cu o placă de gheață destul de groasă (fig. 122). După câțiva timp, corpul solid a căpătat temperatura gheții, adică 0° , iar căldura sa a cedat-o gheții, servind la topirea unei cantități anumite de gheață. Se culege apa provenită din topirea gheții, folosind în acest scop hîrtie de filtru cîntărită în prealabil; cîntărind hîrtia de filtru după absorbirea apei și făcînd diferența, această diferență arată cantitatea p de gheață topită de corpul cald.

Cantitatea de căldură Q cedată de corpul cald este egală cu cea care a servit la topirea gheții. Notînd cu x căldura specifică a corpului, acesta a cedat cantitatea Q de căldură, care are valoarea următoare:

$$Q = P \cdot x \cdot t \quad (1)$$

și cum cantitatea de căldură primită de cantitatea p de gheață pentru a se topi este aceeași, vom avea

$$Q = p \cdot 80,03 \quad (2)$$

unde 80,03 cal/g este valoarea cunoscută a căldurii latente de topire a gheții.

Egalînd cele două expresii de mai sus vom avea:

$$P \cdot x \cdot t = 80,03 p,$$

de unde

$$x = \frac{80,03 p}{P \cdot t} \quad (3)$$

Din cauza condițiilor de lucru (determinarea lui p , menținerea temperaturii de 0° din cavitatea practică în blocul de gheață etc.), metoda nu este precisă. Ea are valoarea istorică în dezvoltarea calorimetriei, și îndeosebi fiindcă principiul a fost folosit pentru primele determinări de calorimetrie biologică (fig. 11).

b) **Metoda amestecurilor.** Amestecînd două lichide, de temperaturi diferite, sau introducînd un corp solid într-un lichid, se stabilește după un anumit interval un echilibru de temperatură între aceste două corpuri.

O masă P din substanța a cărei căldură specifică x o căutăm are temperatura t_1 ; o introducem într-o masă p de apă de temperatura t_2 . În momentul cînd, atît P cît și p capătă aceeași temperatură, masa P a cedat cantitatea de căldură

$$Q = P \cdot x (t_1 - \Theta), \quad (1)$$

iar masa p (apă) a primit aceeași cantitate de căldură:

$$Q = p (\Theta - t_2); \quad (2)$$

egalînd cele două expresii (1), (2), obținem

$$Px (t_1 - \Theta) = p(\Theta - t_2), \quad (3)$$

de unde valoarea lui x este:

$$x = \frac{p (\Theta - t_2)}{P (t_1 - \Theta)} \quad (4)$$



Fig. 122 — Calorimetrul-bloc de gheață.

Determinarea astfel făcută nu este însă exactă, deoarece căldura cedată de corpul P nu a fost primită numai de apa p din calorimetru, ci și de vasul calorimetric, de termometru, de agitator etc.

Printr-o operație simplă se determină pentru fiecare aparat, cu accesoriile sale, cantitatea de căldură C necesară pentru a-și ridica temperatura cu 1° , cifră care reprezintă tocmai numărul de grame de apă care și-ar ridica temperatura cu 1° absorbind aceeași cantitate de căldură.

Acastă cifră C se numește capacitatea calorifică a calorimetrului sau valoarea-apă a calorimetrului.

Făcând de data aceasta determinarea calorimetrică, calculul va da rezultate exacte; apa din calorimetru va ceda aceeași cantitate Q

$$Q = Px(t_1 - \Theta), \quad (1)$$

iar corpul p și calorimetru C vor absorbi împreună această cantitate de căldură:

$$Q = p(\Theta - t_2) + C(\Theta - t_2) = p + C(\Theta - t_2), \quad (5)$$

de unde

$$x = \frac{p + C(\Theta - t_2)}{P(t_1 - \Theta)}. \quad (6)$$

C fiind determinat, putem calcula pe x cu suficientă precizie.

La determinările calorimetrice ce se fac prin metoda amestecurilor se

utilizează un calorimetru de tip clasic (fig. 123), construit de Regnault și modificat de Berthelot. Acest calorimetru este compus dintr-un vas calorimetric K , cilindric, de tablă de alamă subțire, lucios pe dinafară; se introduce în acest calorimetru corpul calorimetric, care în majoritatea cazurilor este apa. Acest vas este introdus într-un altul mai mare L , tot de alamă, lucios pe dinăuntru și având câteva piese rău conducătoare de căldură P pe care se reazimă vasul interior; astfel se evită contactul termic cu vasul exterior și pierderile de căldură prin conductibilitate. Așezarea pereților lucioși, așa cum am arătat, evită pierderile prin radiație.

În apa calorimetrului sînt introduse un termometru T și un agitator M care uniformizează temperatura apei. Cantitățile de apă din calorimetru sînt relativ mici, 1—2 litri; termometru de precizie este gradat în sutimi de grade, ceea ce ne permite să obținem rezultate cît mai exacte.

Corpul a cărui căldură specifică se determină este încălzit într-o etuvă a cărei temperatură se măsoară, iar transportarea corpului de la etuvă la calorimetru se face pe o distanță cît mai mică, cu maximum de precauție, pentru a se evita pierderile de căldură.

B. CALORIMETRIA BIOLOGICĂ

Calorimetria biologică cuprinde metodele experimentale prin care se măsoară cantitățile de căldură degajate de corpul unui animal homeoterm sau al unui om într-un interval de timp dat.

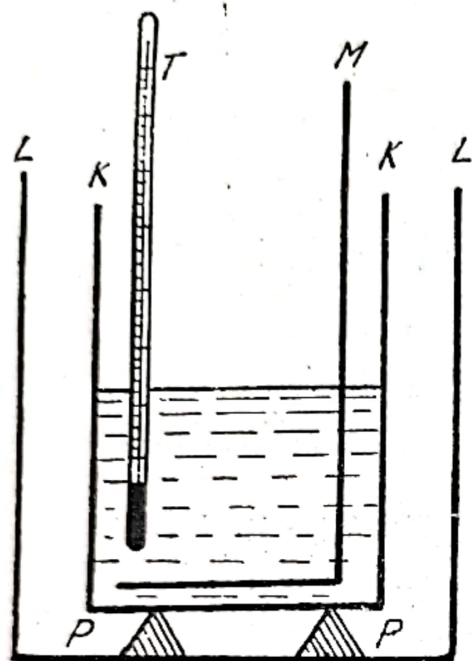


Fig. 123 — Calorimetru cu apă.

Organismul uman cheltuiește neconținut energie pentru întreținerea proceselor vitale, pentru efectuarea lucrului mecanic de către mușchi etc. Cheltuiala de energie din organism se măsoară prin cantitatea de căldură degajată.

În mod direct, energia cheltuită de organism nu se transformă decît parțial în căldură: 25—30 % din energie se transformă în lucrul mecanic făcut de mușchi; o parte foarte mică se transformă în energie electrică produsă de celule, în energia de transport a ionilor și sarcinilor electrice ale particulelor coloidale din organism.

Lucrul mecanic făcut de mușchiul cardiac se transformă în energie cinetică a curentului sanguin, iar această energie se transformă, prin frecare de pereții vaselor, în căldură. Energia activității musculare trece de asemenea în formă de căldură, dacă, în procesul muncii, ea nu a fost transformată în energie potențială prin ridicarea unor greutăți la anumite înălțimi.

O parte din energia dezvoltată de organism este folosită pentru reacțiile endoenergetice de sinteză a substanțelor complexe din corp (de exemplu, glicogenul din acidul lactic). Această energie se păstrează în organism sub formă de rezervă biochimică, deci de energie potențială.

În ultimă analiză, toate formele de energie din organism se transformă în energie calorică. *Determinarea cantității de căldură degajată de organism reprezintă deci măsura întregii cantități de energie cheltuită.*

1. PRINCIPIILE CALORIMETRIEI BIOLOGICE

Calorimetrul biologic funcționează în general pe aceleași principii ca și calorimetrele fizice. Organismul cedează căldură unui corp calorimetric și după creșterea temperaturii acestuia se calculează cantitatea de căldură eliberată de organism. Aplicarea calorimetriei în cercetările biologice, fiziologice și medicale dă astfel posibilitatea de a se determina direct cantitatea de energie eliberată de organism.

Datele obținute pe această cale au servit ca bază pentru calculul cantitativ al cheltuielii de energie în energetica umană (Lavoisier, Libracev, Atwater, Benedict, Rubnev ș.a.).

Calorimetria biologică, pentru a da rezultate cît mai precise, cere o bună izolare termică a aparaturii spre a se evita pierderile de căldură prin conductibilitate, convecție și radiație în mediul înconjurător. Se cere apoi să se țină seama de condițiile în care au loc reacțiile chimice în organismul viu, care trebuie menținut în condiții fiziologice normale.

În afară de aceste condiții, mai trebuie avut în vedere că, pe lângă căldura animală seșisabilă, cedată de organism prin radiație, convecție și conductibilitate, are loc și o pierdere de căldură latentă, de evaporare a sudorii și a apei din mucoasa pulmonară. Pentru ca rezultatele să fie cît mai apropiate de realitate, sînt deci necesare corecții speciale.

2. CÎTEVA TIPURI DE CALORIMETRE BIOLOGICE

Vom descrie cîteva tipuri de calorimetre biologice folosite mai mult în cercetări și în clinică.

a) **Calorimetrul cu gheață.** A fost folosit de Lavoisier și Laplace în experiențele prin care au demonstrat originea chimică a căldurii animale. Ei s-au inspirat de la calorimetrul bloc de gheață pe care l-am descris mai înainte. Calorimetrul biologic cu gheață (fig. 124) se compune dintr-o cameră calorimetrică A în care este ținut animalul cu care se experimentează; camera este introdusă într-un recipient de dimensiuni mai mari și care

conține corpul calorimetric (gheață pisată). Pentru a evita schimbul de căldură dintre calorimetru și mediul ambiant, acest vas cu gheață se află introdus într-un al treilea vas, de asemenea cu gheață. Printr-un calcul similar celui arătat la descrierea calorimetrului „bloc de gheață”, cantitatea de gheață topită într-un interval dat și care se culege în vasul *B* arată cantitatea de căldură degajată.

Metoda prezintă interes istoric; ea este puțin sensibilă, deoarece este nevoie de multă căldură pentru a topi o cantitate mică de gheață; pe de altă parte, apa rămasă aderentă la gheață constituie o parte procentuală însemnată din apa totală așa că, dacă nu se ține seama de aceasta în calcule, se obțin rezultate false.

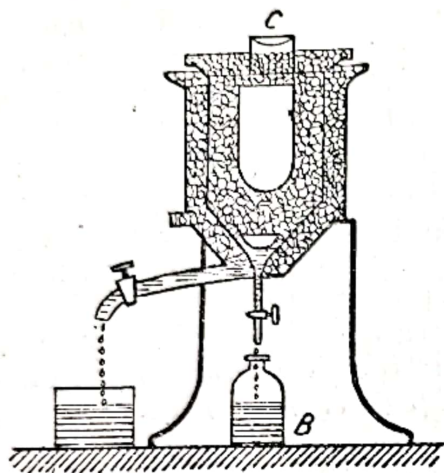


Fig. 124 — Calorimetrul biologic cu gheață.

Mai trebuie avut în vedere și faptul că animalul este ținut mai multă vreme în aer confinat și la o temperatură în jurul celei de 0° , ceea ce face ca funcțiile să nu se desfășoare în mod normal.

b) **Calorimetrul cu apă**, reproduce în măsurătorile biologice calorimetrul lui Regnault, cu adaptările cerute de faptul că, în loc de a se introduce o piesă metalică sau o cantitate de lichid care să cedeze căldură corpului calorimetric (în acest caz, apa) avem drept sursă de căldură un animal.

Calorimetrul cu apă este alcătuit din două vase metalice coaxiale, între care se află apa. În vasul interior se află animalul. Vasul exterior este bine izolat termic, pentru a se reduce la minimum pierderile de căldură. În camera calorimetrică se introduce aer pentru ca animalul să poată respira și să se poată determina schimburile gazoase. Acest aer este însă saturat cu vaporii de apă, astfel că vaporii de apă expirați de animal nu sînt antrenați de curentul de aer, ci se condensează pe pereții camerei calorimetrice, cedînd acesteia căldura de condensare, care contribuie la încălzirea apei din calorimetru. Apa dintre cele două vase se încălzește astfel, atît prin căldura radiată de animal, cît și prin căldura de condensare a vaporilor expirați.

Ridicarea temperaturii apei se măsoară cu ajutorul mai multor termometre, așezate în diferite regiuni ale mantalei de apă; rezervoarele termometrelor se află în apă, iar tijele în afară, pentru ușurința citirii. Cantitatea de căldură (în calorii) degajată de animal este egală cu produsul dintre cantitate de apă în grame și ridicarea temperaturii în grade, constatată în intervalul dat.

Metoda are numeroase deficiențe, legate de modul de lucru, și cere anumite corecții pentru a da rezultate cît mai apropiate de cele reale.

c) **Calorimetrul cu compensare al lui d'Arsonval**. Spre deosebire de metoda în care corpul calorimetric își modifică temperatura prin absorbirea cantității de căldură cedată de animalul cu care se experimentează, în metoda cu compensare temperatura calorimetrului se menține constantă, pentru a se evita variațiile de temperatură ambiantă care ar modifica la animal termogeneza și deci ar cere introducerea unor corecții.

Metoda constă din compensarea căldurii cedate corpului calorimetric de către subiect, printr-o răcire permanentă, astfel executată încît să se mențină constantă temperatura calorimetrului.

Animalul se află într-o cameră calorimetrică cu pereții dubli, între care se află, ca și în metoda precedentă, o cantitate măsurată de apă. Apa este menținută la o temperatură constantă cu ajutorul unei serpentine prin care poate trece apa răcită la temperatura de 0° , riguros controlată.

Cînd temperatura apei din mantaua inelară se ridică, datorită căldurii radiate de animal, un dispozitiv de reglare lasă să treacă în serpentină o nouă cantitate de apă la 0° și, de îndată ce temperatura inițială a calorimetrului a fost din nou atinsă, regulatorul oprește automat accesul apei reci.

La sfîrșitul experienței, produsul dintre cantitatea de apă la 0° care a intrat în serpentină și temperatura cu care această apă părăsește calorimetrul este egal cu cantitatea de căldură degajată de subiect.

Aparatul poate da rezultate precise, cu condiția să nu existe schimb de căldură cu mediul extern, calorimetrul constituind o incintă adiabatică. În acest scop se dă lichidului calorimetric o temperatură egală cu cea a mediului ambiant și se așază aparatul într-o încăpere în care să se poată asigura cîtva timp o temperatură constantă. Pe principiul calorimetrului cu compensare al lui d'Arsonval au fost construite calorimetre de precizie care au permis studierea problemelor de termogeneză animală și de schimburi respiratoare.

Metoda lui d'Arsonval și perfecționările ei, aplicate la animale, au fost extinse la om de către Atwater.

d) **Calorimetrul lui Atwater** nu se deosebește de celelalte calorimetre cu compensare decît prin dimensiunile lui. El constă dintr-o cameră mare în care un om poate sta mai multe zile ducînd o viață normală. Prin determinările de calorimetrie umană cu ajutorul camerei calorimetrice, au fost obținute rezultate din cele mai importante pentru studiile de fiziologie.

e) **Baia calorimetrică.** Calorimetre de mărimea celui al lui Atwater fiind folosite numai pentru determinări științifice, iar celelalte calorimetre cu compensare fiind utilizate numai pentru animale, s-au imaginat alte metode, care, dacă nu sînt prea precise, sînt însă foarte expeditiv. Dintre acestea face parte metoda numită „baia calorimetrică”.

În această metodă, subiectul este introdus într-o baie cu apă, a cărei temperatură, precis determinată, este vecină celei a corpului omenesc. La sfîrșitul experienței, se notează din nou temperatura apei: produsul dintre diferența de temperatură a apei și cantitatea de apă din baie dă un număr de calorii care reprezintă cu suficientă aproximație cantitatea de căldură produsă de corpul subiectului în timpul experienței.

Metoda prezintă însă o serie de cauze de erori: corpul subiectului aflîndu-se în parte în afară din apa din baie, nu se înregistrează căldura corpului transmisă prin radiație aerului de deasupra băii; de asemenea nu se înregistrează căldura vaporilor de apă expirați. Pe de altă parte, cantitatea mare de apă necesară face ca ridicarea de temperatură să fie foarte mică, iar pierderea prin radiație la suprafața băii să fie importantă.

S-au adus o serie de modificări acestei metode: se folosesc numai 100 litri de apă, se amestecă neconținut apa din baie pentru uniformizarea temperaturii și se fac corecții de radiație; subiectul stă numai cu fața afară din apă și respiră la suprafața apei, astfel încît apa primește aproape în întregime cantitatea de căldură a aerului și a vaporilor expirați de subiect; s-au folosit termometre de mare sensibilitate și cu scară fracționată în sutimi de grade, observațiile făcîndu-se cu o lunetă.

În metoda băii calorimetrice s-a folosit și varianta menținerii temperaturii constante. În acest scop se introduce în apa din baie mici fragmente de gheață pentru a compensa căldura absorbită de apă de la corpul omenesc.

În acest mod, temperatura apei rămâne constantă în tot timpul experienței. Greutatea cantității de gheață introdusă pentru a menține constantă temperatura băii dă, prin calcul, în calorii, cantitatea de căldură degajată de corpul aflat în baia calorimetrică.

f) **Anemocalorimetrul.** În afară de metodele calorimetrice descrise, bazate pe principiul amestecurilor, adică pe transmiterea căldurii de la corpul mai cald la cel mai rece, pînă la uniformizarea finală a temperaturii, se mai folosesc metode numite impropriu de „pierdere” de căldură, în realitate de risipire a acesteia în mediul înconjurător.

Dintre aceste din urmă metode, este folosit în clinică anemocalorimetrul.

În acest calorimetru, care este un aparat simplu și ușor de mînuit, subiectul se află într-o incintă a cărei temperatură se urcă datorită căldurii degajate de corp. Calorimetrul este un simplu cort cilindric de stofă de lînă sau de pînză de mătase, înalt de 2 m și susținut în poziție verticală de un trepied de lemn care are în partea superioară un disc de lemn cu diametrul de 80 cm, străbătut de un tub îndoit în formă de unghi drept (fig. 125); la extremitatea acestui tub se adaptează un aparat asemănător contoarelor de gaz sau celor de măsurat viteza vîntului; acest aparat se numește anemometru și are o serie de palete care se învîrtesc cu atît mai repede cu cît curentul de aer care îl străbate este mai intens; un dispozitiv cu angrenaje indică numărul de rotații și deci viteza curentului de aer.

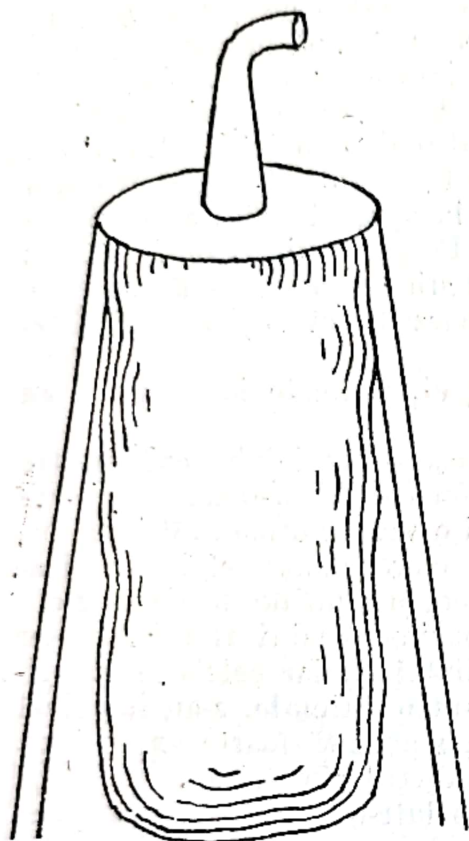


Fig. 125 — Anemocalorimetru.

Căldura degajată de subiect încălzește aerul din cort; aerul cald, avînd densitatea mai mică, se urcă în sus și iese prin coș, acționînd anemometrul.

După 10—15 minute, cînd paletele anemometrului se învîrtesc cu o viteză constantă, se declanșează contorul, iar indicatoarele arată numărul rotațiilor pe secundă făcute de aparat. După această primă fază a experienței se înlocuiește subiectul cu un izvor de căldură cu debit reglabil și, după ce s-a obținut același număr de rotații din prima parte a experienței, se calculează numărul de calorii date, în aceste condiții, de izvorul de căldură.

Experiența arată că trebuie să se țină seama de forma și poziția acestui izvor etalon în interiorul cortului. De aceea, unii autori au dat izvoarelor etalon forma și mărimea unui corp omenesc, confecționîndu-l din azbest și înconjurîndu-l cu un conductor metalic (rezistență electrică); prin această rezistență trece un curent electric, reglabil cu ajutorul unui reostat, și care încălzește în mod variabil aerul din anemocalorimetru, în funcție de intensitatea curentului (după legea Joule-Lenz, despre care se va vorbi în capitolul „Electricitatea”).

Pentru cercetările clinice se poate transforma în anemocalorimetru un pat de spital, așezînd deasupra lui, la o înălțime convenabilă, un tavan dreptunghiular, de la care să pornească în jos pînza cortului. Restul instalației este la fel ca cea arătată mai înainte.

Utilizarea anemocalorimetrului se face numai la temperatura pentru care a fost etalonat aparatul, și într-o cameră în care nu se produc curenți de aer.

g) **Calorigraful.** Anemocalorimetrul, ca și calorimetrul cu compensare, poate fi ușor transformat într-un aparat înregistrator (calorigraf), care, înregistrând în fiecare moment degajarea de căldură studiată, alcătuiește o curbă calorimetrică ce poate fi studiată mai amănunțit, fiind pusă în legătură cu diferitele cauze care produc modificări în procesul de termogeneză.

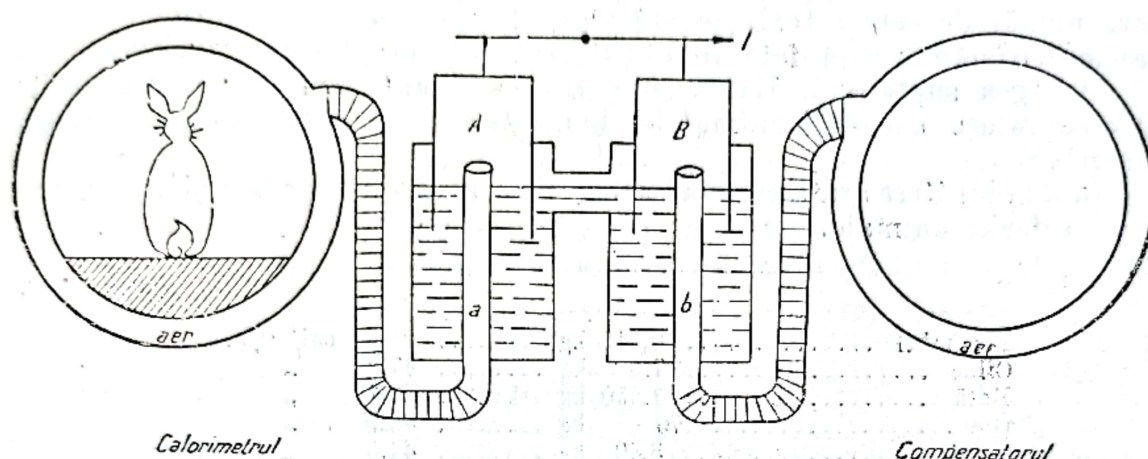


Fig. 126 — Calorimetrul cu aer.

h) **Calorimetrul cu aer.** Din aceeași categorie de calorimetre, în care căldura nu se transmite unui corp calorimetric, căruia, ridicându-i temperatura, să poată fi mijloc de măsurare a cantității de căldură absorbită, ci se risipește în mediul ambiant („se pierde”), face parte și calorimetrul cu aer imaginat de d'Arsonval.

Folosit în diferite construcții și perfecționări, acest calorimetru este compus în esență din două camere metalice cilindrice de aceeași mărime (fig. 126) cu pereții dubli, între care se află aer; în una din aceste camere, care este camera calorimetrică propriu-zisă, se introduce animalul cu care se experimentează. Căldura degajată dilată aerul dintre pereți; aerul, mărirându-și volumul, trece printr-un tub de cauciuc sub un clopot gazometric aflat într-o baie de ulei și împinge o pîrghie înregistratoare legată de clopot, deplasînd-o din poziția de echilibru.

Cum însă asupra aerului dintre pereții dubli ai camerei calorimetrice în care se află animalul nu acționează numai căldura animalului dinspre înăuntru, ci și căldura mediului ambiant, dinafară, dilatarea corpului calorimetric (aerul) nu ar mai constitui o măsurare justă a căldurii animale; de aceea, se anulează această influență a mediului extern prin o a doua cameră, cu rol compensator. Acest mod de compensare exclude perturbații termice exterioare, eliminîndu-le în modul următor: cînd temperatura ambiantă crește, aerul dintre pereții camerei compensatoare se dilată sub influența temperaturii exterioare, tot așa cum se dilată sub influența temperaturii exterioare și aerul dintre pereții camerei calorimetrice în care se află animalul. Aerul dilatat dintre pereții camerei goale pătrunde sub celălalt clopot, pe care îl deplasează în sus, acționînd astfel asupra celuilalt braț al pîrghiei înregistratoare. Efectul exterior se anulează astfel prin două mișcări contrare egale ale acului indicator, așa că, în cele din urmă, asupra acestui ac nu lucrează decît dilatarea aerului datorită căldurii animalului.

Înainte de a se face determinarea, aparatul se etalonează cu ajutorul unui izvor de căldură căruia i se cunoaște debitul termic. Înregistrarea obținută permite să se cunoască ce cantitate de căldură este necesară pentru a înscrie o anumită porțiune de curbă.

3. DETERMINĂRI CALORIMETRICE ÎN TERMOGENEZĂ

Cercetările și determinările calorimetrice, făcute pe animale de un mare număr de cercetători, au arătat că termogeneza este influențată de mai mulți factori: suprafața, învelișul protector, greutatea, activitatea etc.

a) **Legea suprafeței.** Experiența arată existența unei proporționalități între suprafața corpului animalelor homeoterme și cantitatea de căldură produsă.

În tabelul 13 se arată cantitatea de căldură degajată pe m^2 și oră pentru om și diferite animale.

Tabelul 13

Porumbel	0,340 kg	58,8	cal/ m^2 /h.
Ciine	7,5 kg	47,0	"
Rață	1,550 kg	46,1	"
Om	70 kg	45,5	"
Giscă	3,40 kg	44,5	"
Iepure	2,90 kg	42,4	"
Cobai	0,192 kg	37,0	"
Șoarece	0,225 kg	35,4	"

Din aceste cifre reiese că se poate formula o lege experimentală a suprafeței, în modul următor: cantitatea de căldură animală dezvoltată pe unitatea de suprafață a corpului are aproximativ aceeași valoare pentru toate animalele homeoterme.

Legea suprafeței este valabilă numai în cazul neutralității termice. Dacă temperatura mediului este mult diferită de cea a animalului, degajarea de căldură este influențată de mărimea animalului. Astfel, la temperaturi mai ridicate decât temperatura corpului animalului, păsările mari degajează mai multă căldură pe m^2 de corp decât cele mici, pe când, la temperaturi mai scăzute decât cea a corpului animalului, fenomenul decurge în sens invers.

b) **Influența învelișului protector.** Cantitatea de căldură degajată de un animal este influențată de caracteristica învelișului protector: blană, pene. La un animal cu blană, această influență se poate verifica determinând cantitatea de căldură emisă de un animal într-un interval de timp dat și făcând apoi aceeași determinare pe același animal, însă căruia i s-a ras părul.

Experiențele au dat cifrele următoare:

iepure cu blană	9,96 cal/h
iepure ras	15,86 ,,

Se poate explica rolul protector al învelișului pe baza legii de răcire a lui Newton. Am arătat că, după această lege, cantitatea de căldură degajată în unitatea de timp de un corp cald este proporțională cu diferența de temperatură dintre corp și mediul ambiant.

Învelișul protector menține în apropierea suprafeței cutanate, din cauza straturilor de aer dintre peri, o temperatură aproape egală cu cea a orga-

nismului. Pierderea de căldură în exterior se face deci ca și când organismul ar fi menținut într-un mediu de temperatură foarte puțin diferită de a sa proprie, ceea ce, după legea lui Newton, arată că degajarea de căldură este mult redusă.

Cînd organismul este lipsit de învelișul său protector, diferența dintre temperatura internă și cea ambiantă este în general mare, așa că după aceeași lege se intensifică pierderea de căldură prin radiație.

c) **Legea căldurii masice.** Împărțind căldura totală produsă de un animal, prin greutatea lui, se găsește că producerea de căldură, pe unitatea de greutate, se micșorează cu cît animalul este mai mare.

Unii cercetători, raportînd cantitatea de căldură degajată de un animal într-o oră la unitatea de masă, au cuprins rezultatele experimentale obținute în acest domeniu într-o lege cunoscută sub numele de legea căldurii masice. Această lege se formulează astfel: căldura masică variază în raport invers cu mărimea animalului. Dacă Q și q sînt cantitățile de căldură degajate de un animal mare și respectiv de unul mic, iar M și m sînt masele respective ale acestor animale, vom avea exprimată legea căldurii masice prin inegalitatea

$$\frac{Q}{M} < \frac{q}{m}.$$

Cifrele din tabelul 14, obținute de diferiți experimenatori, verifică această lege experimentală.

Tabelul 14

Corp de:	Greutatea (kg)	Căld. masică
Om adult	70	1,35
Cîine	5—11	2,60
Copil	7	4,12
Șoarece	0,175	11,83
Vrabie	0,025	25,00

d) **Influența activității musculare.** Observațiile cele mai curențe arată că un mușchi se încălzește cînd lucrează și că întregul corp își mărește cantitatea de căldură în timpul activității musculare; am expus la începutul acestui capitol cîteva din transformările energetice din organism, în diferite condiții.

Măsurătorile calorimetrice au arătat că, în activitate, corpul produce căldură mai multă decît în repaus; cifrele următoare, obținute de Atwater, arată această influență.

Tabelul 15

Repaus		Căldură degajată	2 397 calorii
Muncă moderată ..	(100 000 kgm)	"	3 302 "
Muncă grea	(250 000 kgm)	"	4 731 "

Numeroși experimentatori au măsurat încălzirea mușchiului care lucrează. În această privință este interesantă experiența clasică a lui Claude Bernard. Înfigind cele două ace ale unui cuplu termoelectric, unul în mușchiul coapsei drepte și altul în mușchiul coapsei stîngi a unei broaște, cînd ambele picioare sînt în repaus, galvanometrul nu arată trecerea unui curent, deci nu există diferență de temperatură între cei doi mușchi. Dacă însă se excită cu ajutorul unui curent electric nervul lombar al uneia din părți, astfel încît să se provoace contracția musculară la piciorul din aceea parte, galvanometrul indică o diferență de potențial, deci o ridicare a temperaturii în mușchiul care a fost excitat (fig. 127).

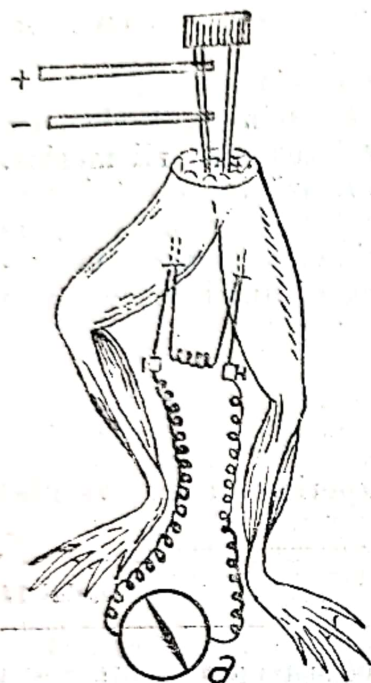


Fig. 127—Încălzirea mușchilor în timpul lucrului (experiența lui Claude Bernard).

4. METABOLISMUL BAZAL

Una din aplicațiile practice cele mai importante ale calorimetriei în medicină este determinarea metabolismului bazal.

Toate funcțiile vitale se desfășoară cu producere de energie termică, căci toate au la bază reacții exoenergetice.

Activitatea organismului se consideră ca fiind de două categorii: activitatea fundamentală sau de bază, care constă în desfășurarea funcțiilor vitale minime (mișcările inimii, ale mușchilor respiratori, tonusul muscular, secreția glandelor, refacerea țesuturilor celulare etc.) și activitatea suplimentară, care variază cu condițiile mediului ambiant (termoreglarea) și cu starea temporară a organismului (digestia, activitatea musculară, cerebrală etc.). Măsurînd pe cale calorimetrică cantitatea de căldură degajată de organism într-un anumit interval de timp, determinăm

activitatea totală a organismului, deci, atît cea fundamentală, cît și cea suplimentară. Datele comparabile sînt date însă numai de activitatea fundamentală, cealaltă formă de activitate variînd în orice moment în funcție de condițiile în care se află organismul. Cantitatea de căldură legată de fenomenele vitale fundamentale se determină prin măsurarea *metabolismului bazal*, și ea arată energia fiziologică minimă sau cheltuiala de fond a organismului.

Experiența arată că, la adultul normal, cheltuiala de energie în repaus muscular absolut, pe nemîncate, într-o încăpere cu temperatura de confort, de 18°, este de aproape 1 kcal pe kilocorp pe oră.

Pe de altă parte, s-a constatat că rezultatele sînt mai comparabile dacă se ține seama de mărimea suprafeței corpului, iar nu de greutatea lui, deoarece, cum am văzut, pierderile de căldură sînt legate de valoarea suprafeței corpului.

Rezultatele obținute au permis, după foarte numeroase determinări și statistici, să se stabilească o metodă convențională numită prescurtat „metabolism bazal”. Valoarea metabolismului bazal se exprimă în kcal pe oră și pe m² de suprafață a corpului. Ea constituie o valoare bine stabilită pentru un subiect de o anumită vîrstă, sex și constituție și servește ca element de diagnostic.

În practică, pentru a măsura cantitatea de căldură degajată corespunzând energiei cheltuite prin activitatea de bază, trebuie eliminată activitatea suplimentară a organismului. Determinarea se face asupra unui subiect menținut în condiții speciale. Astfel, el trebuie să se afle într-un regim de neutralitate termică, de repaus muscular, de repaus de digestie și absorbție. Organismul se află în neutralitate termică atunci când nu luptă, nici contra frigului, nici contra căldurii; se consideră atinsă, în general, această stare când subiectul se găsește îmbrăcat, într-un mediu ambiant cu temperatura de 18°. Repausul muscular se menține în decubit, deoarece chiar simpla stațiune verticală cere, așa cum am arătat în paragraful despre echilibrul corpului, o serie de contracții ale diferitelor grupuri musculare, și deci un consum de energie. În fine, determinarea metabolismului bazal trebuie făcută după ce s-a terminat transportul alimentar pe traiectul digestiv și după ce a încetat absorbția intestinală, care și ele se fac cu cheltuială de energie din categoria suplimentară menționată; de aceea, determinările de metabolism bazal se fac cam la 12–18 ore după ultima masă a subiectului.

Metoda cea mai exactă pentru măsurarea metabolismului bazal este cea calorimetrică. În acest scop se utilizează o cameră calorimetrică de tipul celei descrise anterior, în care pacientul poate sta culcat; căldura degajată și calculată după încălzirea apei calorimetrului se raportează apoi la m² de suprafață a corpului, pe oră. Evaluarea suprafeței corpului constituie o problemă practică importantă. Folosind numeroase măsurători pe cadavre s-a ajuns la evaluarea suprafeței corpului unui subiect în funcție de doi parametri accesibili: greutatea și înălțimea lui. Se folosește o formulă empirică

$$S = 71,84 G^{0,425} I^{0,725}$$

unde G este greutatea corpului și I înălțimea lui.

Pentru diferite valori posibile ale lui G și I , s-au alcătuit tabele de suprafață corespunzătoare a corpului, așa că valoarea acestei suprafețe se află măsurând în clinică doar greutatea și înălțimea subiectului. S-au construit și nomograme, care dau imediat valoarea suprafeței: unind printr-o linie dreaptă cifra care reprezintă valoarea înălțimii din scara din stînga (fig. 128) cu cea care arată valoarea greutății din scara din dreapta, această linie intersectează scara de mijloc într-un punct care arată valoarea suprafeței corpului, în m².

Formula de mai sus dă rezultate satisfăcătoare cu o diferență de $\pm 5\%$. După un astfel de calcul, un bărbat cu înălțimea de 1,75 cm și care cântărește 85 kg are suprafața corpului de 1,80 m².

În clinică sau în centrele de metabolism, unde avem uneori de determinat metabolismul bazal la numeroși bolnavi pe

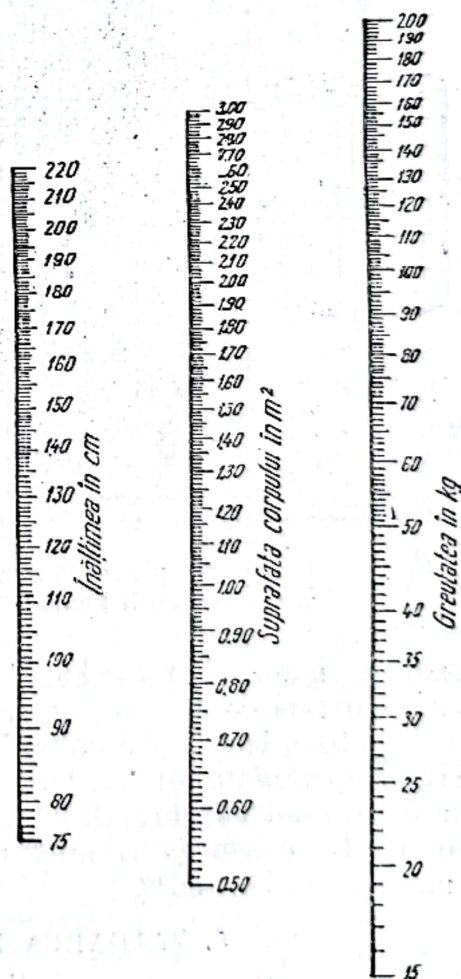
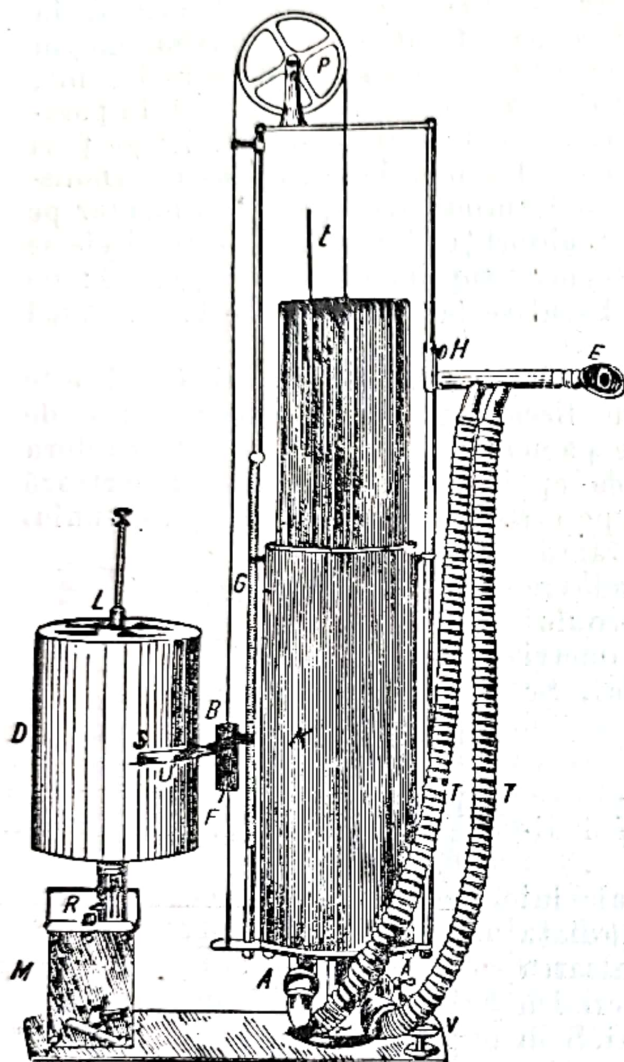


Fig. 128 — Nomogramă [pentru determinarea suprafeței corpului uman.

 Scanned with OKEN Scanner

mul în procesul respirației, în decurs de o oră. Volumul oxigenului, multiplicat cu 4,83 calorii, care reprezintă coeficientul termic al oxigenului (despre care se va vorbi în paragraful privind valoarea energetică a alimentelor), reprezintă cantitatea de căldură degajată, respectiv cantitatea de energie cheltuită de organismul în repaus perfect, în condițiile arătate. Oxigenul este inspirat cu ajutorul unei măști speciale dintr-un gazometru, timp de 15 minute (fig. 129). Din analiza gazului expirat reiese că s-a consumat numai o parte din oxigenul inspirat (de exemplu, 3,5 litri în 15 minute, deci 14 litri pe oră); se introduce această valoare V în formula următoare, după ce valoarea S a suprafeței corpului s-a stabilit prin metoda arătată mai înainte:


$$MB = \frac{4,83 \text{ V}}{S} = \frac{4,83 \cdot 14}{1,80} = 37,5 \text{ kcal/m}^2\text{h.}$$

Metabolismul bazal variază cu vîrsta: este mai mare la bărbați decît la femei (cu aproape 7%) și scade pe măsura înaintării în vîrstă. Pentru un bărbat adult (20 — 50 de ani), perfect

5. VALOAREA ENERGETICĂ A ALIMENTELOR

186'

descoperită de Berthelot, pe baza legii conservării energiei. Această lege a fost formulată astfel: dacă un sistem material suferă o modificare fizico-chimică, căldura produsă sau absorbită nu depinde decât de starea inițială a sistemului și de starea lui finală. În termochimie, legea descoperită de Hess (1840) formulează procesul astfel: efectul termic al unei reacții chimice este independent de etapele intermediare prin care trece reacția. Astfel, fie că ardem un gram de zahăr, care se transformă complet în CO_2 și H_2O , fie că-l ardem în aer insuficient, astfel încât să dea la început CO , care apoi să ardă mai departe, trecând în CO_2 , fie că introducem zahărul în organism, unde se transformă de asemenea în CO_2 și H_2O , fie că-l transformăm prin acțiunea fermentilor în glucoză și levuloză, apoi în alcool și CO_2 , iar alcoolul arde și el, dând CO_2 și H_2O , cantitatea de energie eliberată este aceeași, oricare ar fi calea urmată de gramul de zahăr spre a trece, prin oxidare, în CO_2 și H_2O .

Ținând seama de faptul că s-a stabilit că în organism 99,9% din energia produsă este datorită oxidării proteinelor, glucidelor și lipidelor, s-a determinat pe cale calorimetrică valoarea energetică a unui gram din fiecare din aceste principii alimentare; astfel se poate calcula în calorii valoarea energetică a unei rații alimentare de componență bine stabilită.

Calorimetrul folosit încă de Berthelot pentru aceste determinări, și modificat de Mahler, poartă numele de *bomba calorimetrică* (fig. 130). El servește la determinarea puterii calorice a combustibililor (cărboni, lemne), precum și a alimentelor. Bomba calorimetrică este formată dintr-un vas de oțel rezistent, în care se află o capsulă metalică ce formează unul din electrozii unui circuit electric; al doilea electrod se află în apropierea capșulei. Se introduce în capsulă o pastilă în greutate de 1 g, formată din combustibilul sau alimentul a cărui putere calorică se determină, se închide ermetic și se introduce printr-un robinet oxigen sub presiunea de 200 atm. Vasul de oțel este introdus într-un vas cu apă care constituie lichidul calorimetric. Se ia o cantitate de apă, astfel încât calculele să nu prezinte dificultăți (de exemplu, 1 litru). Se izolează bine calorimetrul de mediul extern și, închizând circuitul electric, se produce între cei doi electrozi din calorimetru o scintee electrică; pastila de combustibil sau de aliment se aprinde și arde complet în oxigen. Cantitatea de căldură produsă de această ardere se transmite apei din calorimetru, ceea ce se observă la termometrul introdus în apă. Celelalte operații și calcule sînt cele din calorimetrie, pe care le-am examinat.

Determinarea cantității de căldură pe care o dă în organism un gram din principiile alimentare a trebuit să fie supusă anumitor corecții, deoarece o parte din alimentele introduse în organism nu sînt asimilate complet, ci excretate parțial, iar oxidarea proteinelor nu merge totdeauna pînă la apă și uree, ci dă și alți compuși (acid uric). Astfel, în bomba calorime-

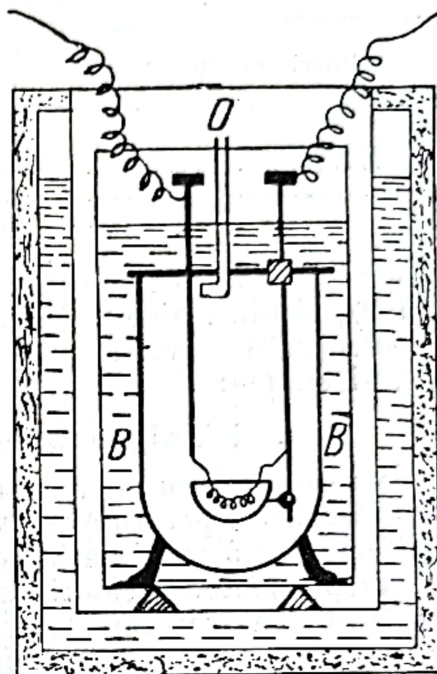


Fig. 130 — Bomba calorimetrică.

trică, 1 g protide dă 5,7 kcal arzînd pînă la uree; dacă se scade căldura de descompunere a ureei în CO_2 , N_2 și H_2O , care este 1,65 kcal, rămîn ca valoare energetică a 1 g protide 4,1 kcal. Făcîndu-se corecțiile, rezultatele se pot reprezenta sub forma următoare:

Tabelul 16

Valoarea energetică a principiilor alimentare. Valori medii, în kcal/g

Principiile alimentare	Determinate în calorimetru	Corectate	Rotunjite
Lipide	9,4	9,10	9
Protide	5,7	4,65	4
Glucide	5,2	4,10	4

Deoarece din glucidele ingerate se asimilează în medie 98%, din proteine 92% și din lipide 95%, în experiențele în care asimilarea hranei nu este controlată se preferă adoptarea unei valori energetice rotunjite în minus, și anume:

4 kcal/g glucide și protide, și 9 kcal/g grăsimi.

Deoarece un litru de oxigen întrebuintat pentru oxidarea grăsimilor produce 4,7 kcal, pentru oxidarea glucidelor 5,05 kcal și a proteinelor 4,85 kcal, făcîndu-se o medie aritmetică pentru rația alimentară obișnuită, se obține drept coeficient caloric mediu al oxigenului valoarea 4,83 kcal, adică cantitatea de căldură care se degajează în procesul de oxidare prin consumarea unui litru din oxigenul inspirat.

V. TRANSFORMĂRILE ENERGIEI TERMICE

În partea din fizică numită termodinamica, în afară de noțiunile de energie totală a moleculelor (căldura) și de nivelul termic al substanțelor (temperatura), se studiază și transformarea termică pe care o suferă substanțele, cum și transformările energetice reciproce ale energiei termice și energiei mecanice (legile termodinamicii) și aplicațiile termoenergeticii (ale termotehnicii).

A. TRANSFORMĂRILE TERMICE

În procesele de transformare a energiei termice în energie mecanică se folosesc tot mai mult corpurile gazoase ca purtătoare de căldură, deoarece gazele își măresc cel mai mult volumul. Cel mai simplu mijloc de a realiza o astfel de transformare este următorul: într-un cilindru așezat vertical, în care se află un gaz, se așază pe pistonul cilindrului o greutate; încălzind gazul, acesta se dilată și deplasează pistonul, efectuînd astfel un lucru mecanic. Deci, în locul energiei termice cheltuite pentru încălzirea gazului se obține lucru mecanic, respectiv energie mecanică, care este diferența dintre cele două stări energetice ale sistemului de la începutul încălzirii și de la sfîrșitul ei.

Modificarea unora din parametrii unui gaz: presiune, volum, temperatură, se numește transformare energetică. Caracterul acestor transformări depinde de parametrii care se modifică și de cei care rămîn constanți.

1. TRANSFORMAREA IZOTERMĂ

Este important să se cunoască influența pe care o are modificarea unuia din parametri asupra modului cum variază un alt parametru. Astfel, experiența arată că presiunea unui gaz variază în raport invers cu volumul gazului, în limita anumitor presiuni nu prea mari. Se poate scrie deci

$$pV = p_0V_0 = p_1V_1 = \text{const.}, \quad (1)$$

ceea ce cunoaștem din legea Boyle-Mariotte.

Această transformare are loc în astfel de condiții încît, în tot timpul ei, temperatura gazului nu variază; de aceea transformarea se numește izotermă, adică are loc la aceeași temperatură.

2. TRANSFORMAREA IZOBARĂ

Dacă menținem un gaz la presiune constantă, de exemplu presiunea atmosferică, și-l încălzim, el se dilată, adică își mărește volumul.

Folosind ecuația care redă legea lui Gay-Lussac

$$pV = p_0V_0 (1 + \alpha t), \quad (2)$$

în care t este diferența dintre temperatura de la începutul operației și cea de la sfîrșitul ei, dacă această diferență este nulă (în cazul precedent am admis că temperatura a rămas neschimbată), termenul αt se anulează și din formula Gay-Lussac ajungem la formula Boyle-Mariotte, $pV = p_0V_0$. (1)

Folosind ecuația Gay-Lussac

$$pV = p_0V_0 (1 + \alpha t) \quad (2)$$

și efectuînd transformarea astfel încît presiunea de la sfîrșitul încălzirii să rămînă aceeași ca cea de la început ($p = p_0$), formula devine:

$$V = V_0 (1 + \alpha t), \quad (3)$$

expresie cunoscută pentru dilatarea gazelor în volum, la presiunea constantă. Acest fel de transformare energetică se numește transformare izobară.

3. TRANSFORMAREA IZOCORĂ

Să limităm spațiul de dilatare al unui gaz, închizînd gazul într-un recipient prevăzut cu un manometru și care are pereții destul de rezistenți pentru a nu se sparge; încălzînd acest recipient, gazul, neputîndu-și mări volumul, își mărește presiunea, apăsînd mai cu putere pe pereți, din cauza energiei pe care a primit-o în plus sub forma termică.

Din formula Gay-Lussac

$$pV = p_0V_0 (1 + \alpha t) \quad (2)$$

dacă volumul $V = V_0$, avem

$$p = p_0 (1 + \alpha t) \quad (4)$$

ceea ce arată că transformarea se face prin variația presiunii. Această transformare sub volum constant se numește transformare izocoră.

4. TRANSFORMAREA ADIABATICĂ

Transformare adiabatică este aceea în care dilatarea sau comprimarea gazului se realizează fără nici un schimb de căldură între gaz și mediul extern. La acest rezultat se ajunge dacă se izolează cât mai perfect, cu ajutorul unor materiale termoizolante, dispozitivul în care are loc transformarea.

O incintă în care se pot realiza aceste modificări de volum și presiune fără intervenția căldurii dinafară se numește *incintă adiabatică*.

Un model de astfel de incintă este recipientul cunoscut sub numele de vasul Dewar. Acesta constă dintr-o sticlă cu pereții dubli, între care s-a făcut un vid înalt. Pereții sunt argintați, astfel încât pot reflecta orice radiații termice, venite fie dinafară, fie dinăuntru; prin acest mijloc se micșorează cât mai mult posibilitatea de transmitere a căldurii prin radiație.

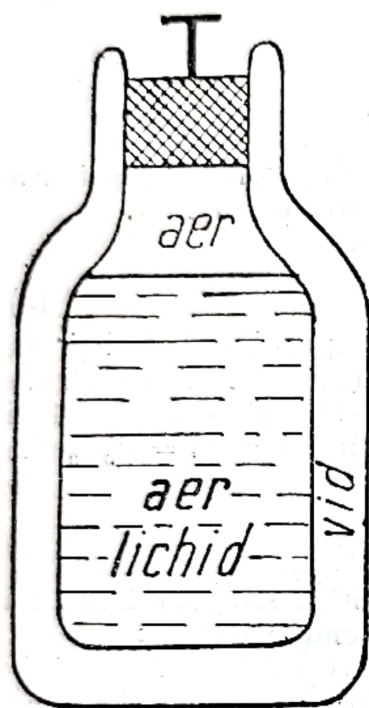


Fig. 131 — Schema transformării adiabatică.

Introducând într-un asemenea vas aer lichid și deasupra un piston (fig. 131) și ridicând pistonul, aerul lichid se transformă, în spațiul vid, în aer gazos fără a cere căldură dinafară și luând căldură pentru evaporare numai de la propria sa masă, pe care o răcește și mai mult. Dacă împingem la loc pistonul, aerul gazos se prefăce în aer lichid, compresiunea mecanică producând căldură, care este astfel redată aerului lichid.

Se înțelege ușor că, în cazul destinderii adiabatică, gazul efectuează un lucru mecanic în detrimentul energiei sale calorice interne, și de aceea temperatura lui scade, pe când, în cazul unei compresiuni adiabatică, lucrul mecanic cheltuit pentru compresiune mărește energia internă a gazului, astfel încât temperatura gazului crește.

5. TRANSFORMAREA POLITROPĂ

În ansamblu, aceste procese pot fi studiate printr-o singură relație

$$x = Vp^m,$$

unde exponentul m are diferite valori, după transformările respective; sub această formă, transformarea termică ia numele de transformare politropă.

B. LEGILE TERMODINAMICII

Transformarea lucrului mecanic în căldură și invers se conduce după anumite legi experimentale, numite legile termodinamicii.

Aceste legi experimentale sînt cunoscute și sub numele de principiile termodinamicii.

1. PRIMA LEGE A TERMODINAMICII

Această lege stabilește legătura cunoscută din cele mai vechi timpuri între lucrul mecanic efectuat și căldura produsă; încălzirea rișniței cu care cănite sau a lemnelor frecate pînă se aprind, au arătat omului existența acestei legături.

Legea a fost enunțată în secolul trecut de medicul german Robert Julius Mayer (1842), care a stabilit că, într-un proces mecanic, cantitatea de căldură rezultată este proporțională cu lucrul mecanic cheltuit, și invers: lucrul cheltuit este proporțional cu căldura. Această proporționalitate poate fi reprezentată prin relațiile următoare:

$$\frac{L}{Q} = \frac{L'}{Q'} = \frac{L''}{Q''} = \frac{L'''}{Q'''} = J$$

Raportul J a fost numit *echivalentul mecanic al căldurii*.

Joule a făcut în 1850 verificarea acestei legi cu ajutorul unui aparat construit dintr-un calorimetru și un sistem de lopățele, care, rotite cu ajutorul unei axe, freacă apa și o încălzesc. Frecarea se obține prin efectuarea unui lucru mecanic, adică prin ridicarea succesivă a unor greutăți de valoare cunoscută la o înălțime cunoscută, de un număr determinat de ori. Cu un astfel de aparat s-a determinat valoarea lui J , care este

$$J = 426 \text{ kgm/kcal.}$$

Această valoare se numește echivalentul mecanic al caloriei. Profesorul Miculescu a refăcut, în 1892, experiența pentru determinarea echivalentului mecanic al caloriei, cu toate garanțiile de precizie, și a contribuit la determinarea acestui echivalent.

Din prima lege a termodinamicii rezultă o funcție de stare numită energie, care se enunță astfel: variația energiei unui sistem este egală cu lucrul mecanic furnizat de acel sistem într-un proces adiabatic.

$$E_1 - E_2 = L.$$

Legea întâi a termodinamicii se enunță astfel: pentru trecerea adiabatică a unui sistem dintr-o stare termică în alta, este necesar totdeauna același lucru mecanic, indiferent de modul în care se face această trecere.

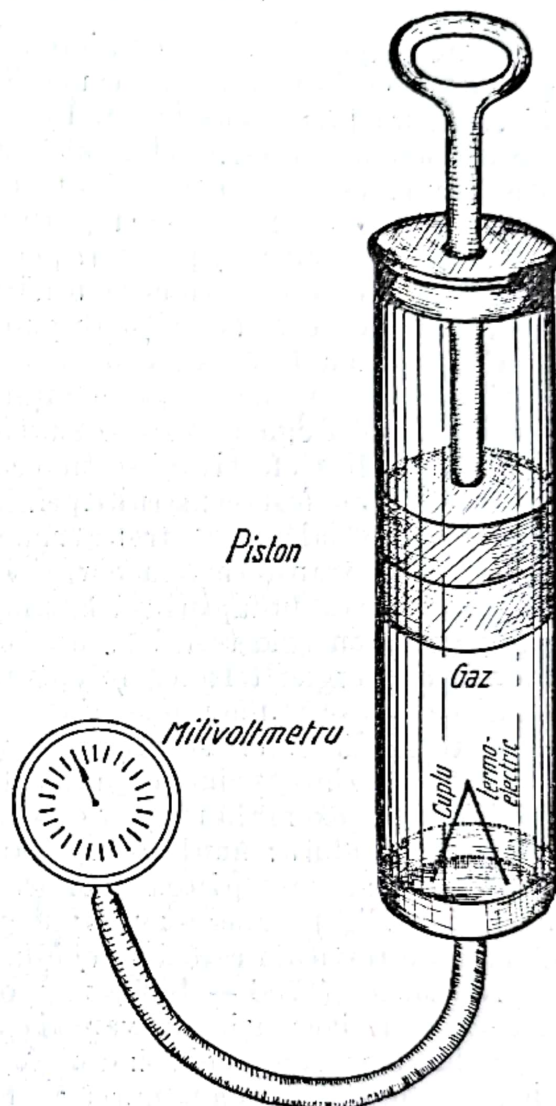


Fig. 132 — Încălzirea gazului obținut prin comprimare este înregistrată de termometrul termoelectric.

Această lege se mai numește și *legea echivalenței* sau legea lui Mayer. Fiziologul și fizicianul Helmholtz a descoperit și formulat în același timp cu Mayer *legea conservării și transformării energiei*, și a arătat că ea este valabilă pentru toate fenomenele naturii, inclusiv cele din natura vie.

2. LEGEA A DOUA A TERMODINAMICII

Prima lege a termodinamicii stabilește numai relațiile dintre cantitatea de energie termică și cantitatea corespunzătoare de energie mecanică, într-un proces adiabatic. Ea ne arată că energia unui sistem izolat este aceeași în starea inițială și în starea finală, dar nu ne dă nici o indicație asupra sensului posibil al transformărilor. Prima lege nu poate servi, în general, la determinarea faptului dacă un sistem este în stare de echilibru, astfel că nu mai poate fi posibilă nici o transformare.

Legea a doua a termodinamicii dă indicații asupra sensului în care transformări ca cele menționate sînt posibile în practică.

Ca și prima lege, legea a doua a termodinamicii poate fi enunțată sub diferite forme. Principalele enunțări sînt datorite lui Carnot (1824) și lui Clausius (1850). Demonstrarea acestei legi se face alegînd o transformare-tip, care se poate realiza efectiv, și arătînd că transformarea inversă nu este posibilă.

De cum au fost construite primele mașini termice, s-a constatat o deosebire esențială între transformarea energiei mecanice în energie termică și între transformarea energiei termice în energie mecanică. Această deosebire constă în faptul că, în timp ce energia mecanică se transformă în întregime în energie termică, așa cum arată experiența, transformarea inversă, a energiei termice în energie mecanică, se face numai parțial, și numai cu ajutorul unor mașini speciale numite motoare. În timp ce prima lege a termodinamicii se reprezintă matematic printr-o egalitate, legea a doua se reprezintă printr-o inegalitate.

Luînd ca exemplu mașina cu vaporii, se observă că ea lucrează cu două izvoare de căldură: unul cald (cazanul) și unul rece (condensatorul). După ce a pus în mișcare pistonul, aburul se destinde și, nemaiputînd fi folosit mai departe la producerea unui lucru mecanic, este răcit într-un condensator, unde restituie restul de căldură netransformat în lucru mecanic.

N. Carnot (1796 — 1832) face o comparație intuitivă: aseamănă căldura cu apa, iar mașina cu vaporii o aseamănă cu roata morii: căldura poate da un lucru mecanic coborînd de la temperatura ridicată la o temperatură coborîtă, tot așa cum apa mișcă roata morii căzînd de la un nivel mai înalt la un nivel mai coborît; tot așa cum apa iese nealterată din acest proces de cădere, la fel ar ieși și căldura. Comparația lui Carnot este greșită, deoarece căldura, formă a energiei, nu se poate compara cu apa, fără a se reveni la concepția idealistă despre căldură socotită ca o substanță. Căldura poate fi comparată cu energia apei în procesul amintit.

W. Thomson-Kelvin (1824 — 1907) și Clausius, corectînd în 1850, pe Carnot, enunță legea a doua a termodinamicii, arătînd că procesul de transformare a căldurii în lucru mecanic nu este perfect reversibil și că nu toată cantitatea de căldură disponibilă se poate transforma în lucru mecanic, ci numai o parte; restul se risipește în decursul transformării, cheltuindu-se prin radiație, pentru egalarea diferențelor de temperatură dintre corp și ambianță. Dacă, în cursul schimbărilor succesive, energia trece prin faza de energie termică, ea nu mai poate fi folosită în întregime ca lucru mecanic. De aceea se spune că energia termică este, din punct de vedere practic, o formă degradată de energie.

Din legea a doua a termodinamicii decurge o funcție de stare termică numită *entropie*. Entropia este o mărime fizică a cărei variație se exprimă prin raportul dintre căldura primită de sistem într-o transformare reversibilă și temperatura absolută la care are loc schimbul de căldură; creșterea entropiei într-un sistem izolat arată ireversibilitatea procesului care are loc în acel sistem.

Reversibilitatea parțială arătată a făcut să apară problema randamentului mașinilor termice. Pentru căderea de temperatură (absolută) $T_1 - T_2$ dintre cele două izvoare cu care lucrează o mașină termică, avem randamentul:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{mcT_1 - mcT_2}{mcT_1} = \frac{T_1}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

deci randamentul util $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$, adică unitatea minus pierderile. Cum randamentul η devine maxim, adică 1, când pierderile au valoarea zero, deci când raportul $\frac{T_2}{T_1}$ de mai sus are valoarea zero, trebuie să avem, în acest scop, ori $T_2 = 0$, adică să răcim mașina perfect, ori $T_1 = \infty$, adică să ridicăm temperatura cazanului foarte mult.

Pentru a avea pe η cât mai aproape de unitate, se încălzește în prezent apa din cazanele marilor termocentrale pînă la 600° sub presiunea de 170 at și se răcește generatorul cu hidrogen sau, acum în urmă, cu heliu, care este neinflamabil; aceste gaze, avînd molecula mică, au mobilitatea mare și conductibilitatea termică foarte mare. La centralele termoelectrice, răcirea condensatorilor, unde se condensează vaporii după ieșirea din turbine, se face cu ajutorul apei de râu, iar pentru răcirea acestei ape de răcire se folosesc turnuri de răcire, în formă de trunchi de piramidă sau de hiperboloid, de dimensiuni foarte mari, unde apa se răcește prin evaporare, căzînd în picături mici în contracurent cu aerul de răcire.

În ce privește gradul de nereversibilitate a transformărilor se stabilește că entropia unui sistem este nulă la temperatura de zero absolut; acest principiu este cunoscut și sub denumirea de *legea a treia a termodinamicii*.

Fizicienii secolului al XIX-lea au admis că, în natură, toate formele de energie au tendința de a se transforma în energie termică și, deoarece această formă de energie este o formă „degradată”, nefiind complet reversibilă, se va ajunge în univers la o degradare generală a energiei. Clausius afirma că „entropia universului tinde către un maximum”, iar filozofii de la finele secolului trecut au emis ipoteza „morții termice a universului”, ceea ce duce la concluzia „nașterii” termice, deci a creației universului.

Engels a arătat neconsistența științifică a acestor teorii. Ele își au originea în faptul că raționamentul lui Clausius este defectuos: defectul rezidă în extinderea concluziilor, valabile în cazul sistemelor finite, la universul infinit în timp și spațiu.

Cauzele care au stat la baza acestui raționament greșit au constatat în starea înapoiată a tehnicii epocii, care făcea să nu se poată obține un randament mai mare al mașinilor. Astăzi, randamentul este din ce în ce mai mare, iar pentru a ocoli trecerea energiei prin forma practic degradată, forma termică, calea de urmat în tehnică este părăsirea treptată a vechilor metode de producere a energiei prin intermediul căldurii și obținerea

energiei electrice direct, din altă formă de energie (solară, chimică, nucleară), fără intervenția aburului sau a altui agent purtător de căldură.

În prezent, folosirea vaporilor și sub alte forme energetice, cum este *termoficarea*, face să se ajungă la obținerea unui randament energetic general de 70%.

Se folosesc astăzi în U.R.S.S. agregate mari, în care aburul cu temperatura de 550° mișcă turbinele, și deci și alternatorii care produc curent electric; din turbină, aburul iese cu o temperatură de 300° . În loc de a fi condensat, acest abur este folosit pentru a pune în mișcare alte turbine mai mici, care, acționând generatori, produc și ele curent electric; la urmă, aburul iese cu o temperatură de 150° . Acest abur este trimis, prin conducte subterane bine izolate termic, în fabrici sau în cartiere de locuințe, fie pentru folosință industrială, fie pentru încălzire casnică. Termoficarea se face, fie direct cu aburul, fie cu apă încălzită cu ajutorul aburului evacuat din turbina finală.

La Moscova se termofică în fiecare an sute de blocuri de locuințe, care sînt încălzite cu aburul evacuat de centralele termoelectrice de termoficare. Introducerea termoficării este prevăzută și în cel de-al doilea plan cincinal al R.P.R. (1956—1960).

În industrie se recuperează de asemenea căldura aburului. Zgura fierbinte, cocsul, cimentul, cuptoarele înalte, preîncălzitoarele din distilările de petrol, reacțiile chimice exoenergetice din marile uzine chimice etc. sînt folosite pentru recuperarea căldurii, care astfel nu este lăsată să se irosească.

Pe măsura înaintării tehnicii, randamentul termic crește. Fenomenele naturale cunoscute astăzi și care nu erau cunoscute acum 100 de ani, în domeniul structurii atomului și al energiei nucleare, arată că, în univers, nu se poate pune problema degradării energiei, fiindcă transformarea în căldură nu este singura transformare energetică din univers. La scara noastră, practică, rezervele de energie care se pot degrada cu folos sînt uriașe și progresul tehnicii se bazează tocmai pe utilizarea lor cît mai rațională.

VI. ETUVE, TERMOSTATE, AUTOCLAVE

În medicină sînt utilizate o serie de aparate termice, dintre care vom descrie etuvele, termostatele și autoclavele.

A. ETUVELE

Etuvele sînt aparate termice utilizate pentru încălzire, în diferite scopuri: industriale, medicale etc.

1. ETUVA DE LABORATOR

Etuva de laborator este un aparat care servește la încălzirea și exsiccarea diferitelor preparate. Este construită în principiu dintr-o cameră metalică de încălzire, de mărime diferită, după scopurile urmărite, și avînd în interior un termometru; acesta poate fi citit, fie printr-o fereastră, fie prin faptul că nu mai rezervorul se află în incinta încălzită, iar tija gradată se află afară (fig. 133).

Pentru a îndepărta apa dintr-un preparat, etuva se încălzește cu câteva grade deasupra punctului de fierbere a apei. Încălzirea se face cu o lampă de petrol, un arzător de gaz, ori cu o rezistență electrică, utilizând un dispozitiv cu ajutorul căruia se poate regla temperatura de încălzire. Uneori etuva are orificii pentru ieșirea aburului provenit din uscarea substanțelor.

2. ETUVA INDUSTRIALĂ

În industria alimentară și chimico-farmaceutică sînt folosite etuve de felul celor de laborator, însă de dimensiuni adecvate scopului: uscarea materialelor, preparatelor etc. În ultima vreme se încălzește cu raze infraroșii. În această metodă, încălzirea se face cu ajutorul unor lămpi electrice cu incandescență, astfel construite încît radiațiile lor sînt bogate în raze infraroșii, care sînt raze calorice. De asemenea, pentru încălzirea și uscarea unor materiale dielectrice, cum ar fi lemnul și altele, se utilizează încălzirea prin curenți de înaltă frecvență.

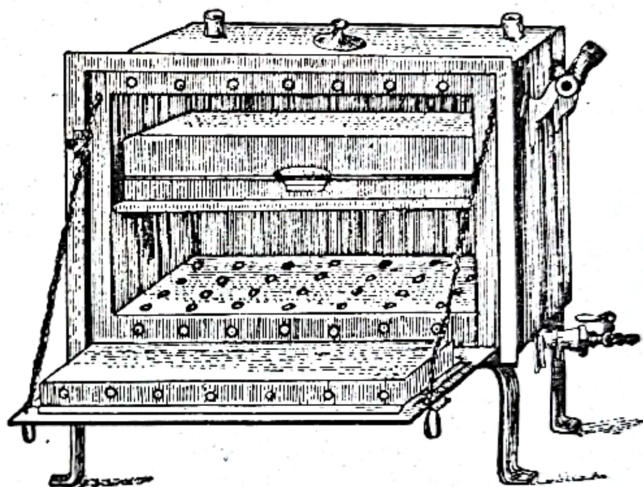


Fig. 133—Etuva de laborator cu pereții dubli.

3. CUPTORUL LUI PASTEUR

Un aparat care după construcția sa este etuvă, dar e folosit pentru sterilizare, este etuva sau cuptorul lui Pasteur. Acest aparat constă dintr-un cazan de metal de formă cilindrică, așezat vertical pe un trepied și care se încălzește uscat cu ajutorul unor becuri de gaz. Gazele de ardere pătrund în cuptor, unde încălzesc o incintă metalică interioară, separată cu totul de cea exterioară; apoi ies prin coș. Incinta interioară se deschide la partea superioară, și în ea se pot așeza obiectele de sterilizat. Pasteur a construit cazanul, nu pentru uscare, ci pentru sterilizare. În acest aparat se obține o sterilizare uscată la o temperatură de peste 120° .

B. AUTOCLAVE

Autoclavele sînt aparate construite pe principiul încălzirii cu vapori supraîncălziți, obținuți prin fierberea apei la o temperatură mai mare de 100° , sub presiune ridicată. Fenomenul a fost descoperit și studiat încă din secolul al XVII-lea de Papin (1647 — 1714). Închizînd ermetic cazanul în care fierbem o cantitate de apă, vaporii formați exercită o presiune asupra lichidului încălzit și îi ridică punctul de fierbere, așa că lichidul se încălzește și mai mult înainte de a fierbe. Astfel, la o presiune de 2 atmosfere, temperatura de fierbere a apei este de 121° , la 3 at de 134° , la 4 at de 144° , la 5 at de 152° ; cum am menționat, la cazanele de înaltă presiune ale centralelor termoelectrice, temperatura de fierbere a apei poate atinge 600° la o presiune de 170 at.

Manometrul care arată presiunea exercitată de vapori în autoclav este gradat uneori direct în temperaturile corespunzătoare presiunilor vaporilor de apă pe care ar trebui să le arate manometrul. Autoclavele sînt de mai multe feluri, după metoda de folosire a temperaturii ridicate, după utilizarea ei.

1. AUTOCLAVUL PENTRU STERILIZARE

Autoclavul obișnuit de sterilizare a instrumentelor și pansamentelor este construit în forma unui cazan vertical avînd în partea inferioară un

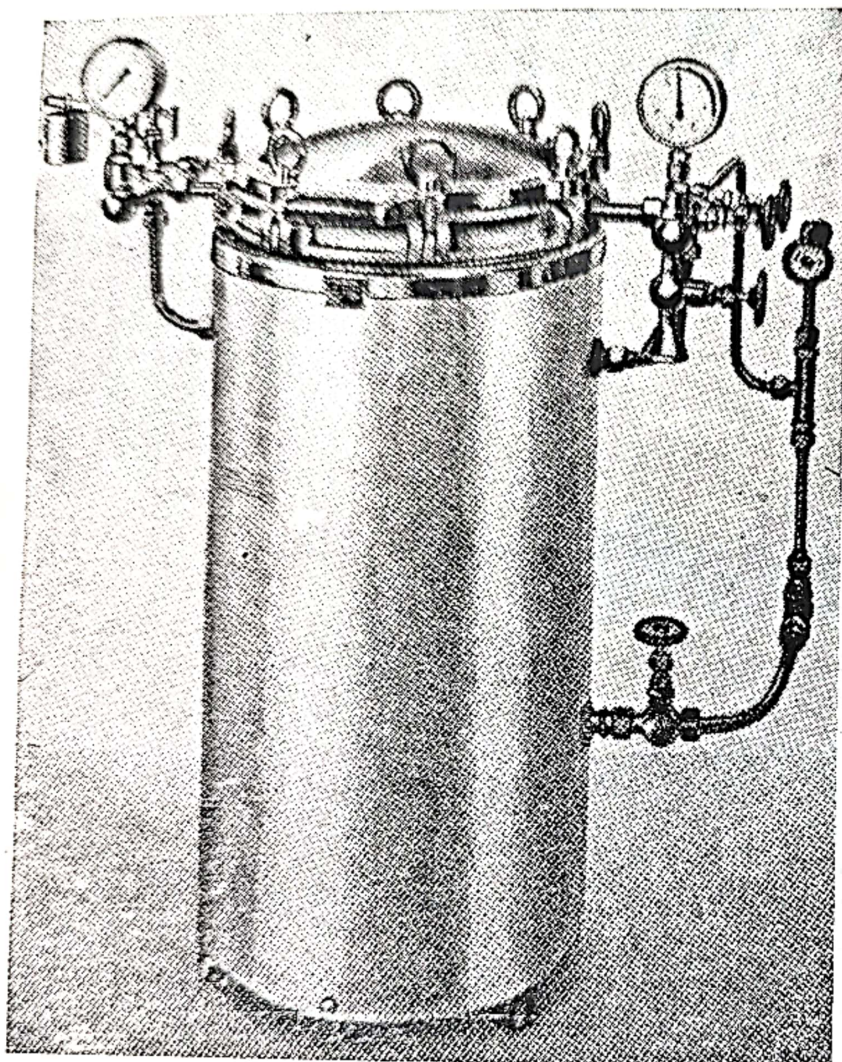


Fig. 134 — Autoclav pentru sterilizare.

rezervor cu apă, adus la temperatura de fierbere prin încălzirea cu gaz sau cu o rezistență electrică (fig. 134).

Într-un coșuleț de pînză de sîrmă, ori pe niște rafturi de tablă de metal perforată, aflate în jumătatea superioară, se așază obiectele de sterilizat. Capacul de tablă rezistentă de oțel se închide ermetic prin înșurubare. Se încălzește cu robinetul pentru vapori deschis pînă cînd iese tot aerul din autoclav și vaporii încep să iasă în jet continuu. Apoi se închide robinetul și se lasă să se ridice temperatura pînă la 120 sau la 130° timp de 15 minute; se lasă să se răcească și apoi se deschide. Capacul se deschide numai după răcire pentru a evita intrarea bruscă a aerului, care poate duce la deterio-

rarea obiectelor aflate în autoclav. În industria farmaceutică se sterilizează în autoclav diferite preparate farmaceutice, produse opoterapice etc. În industria alimentară, sterilizarea conservelor închise în cutii sau borcane se face de asemenea în autoclave de tip special, pentru a se distruge germenii care ar putea altera alimentele conservate.

2. AUTOCLAVUL PENTRU DEZINFECȚIE

Obiectele de cameră, păături, saltele, rufe, vase etc. din camerele contagioșilor sau din spitale se dezinfectează prin încălzire în autoclave mari, orizontale, în care obiectele se introduc pe cărucioare cu ajutorul unor glijere. În marile instituții spitalicești, autoclavele ocupă camere întregi.

În instalațiile moderne se injectează în autoclav vapori de apă supraîncălziți, până la 160° ; aceștia pătrund în toate țesăturile rufăriei, efectelor de cameră, distrugând microorganismele patogene, cum și sporii lor, care uneori rezistă până la 120° . După dezinfecție, se oprește accesul vaporilor, se deschide autoclavul și se continuă încălzirea pentru uscarea efectelor umezite de vaporii de apă.

Pentru dezinfecții ambulatorii se folosesc autoclavele hipomobile sau automobile, care dezinfectează la locuința contagioșilor rufe, hainele, efectele de cameră etc., după același principiu descris mai înainte.

C. TERMOSTATE

Termostatele sînt utilizate în laborator și industrie pentru menținerea unei temperaturi constante în anumite scopuri, procese biologice etc.

1. TERMOSTATE DE LABORATOR

Termostatele moderne sînt încălzite electric. Reglarea electrică permițînd menținerea constantă a temperaturii cu variații de ordinul sutimii de grad, încălzirea electrică a termostatelor este cea de preferat (fig. 135). Dacă lipsește instalația electrică, se pot încălzi termostatele cu alcool, petrol, gaze etc. Menținerea constantă a temperaturii se realizează cu oarecare greutate, fiind necesară retragerea periodică a izvorului de

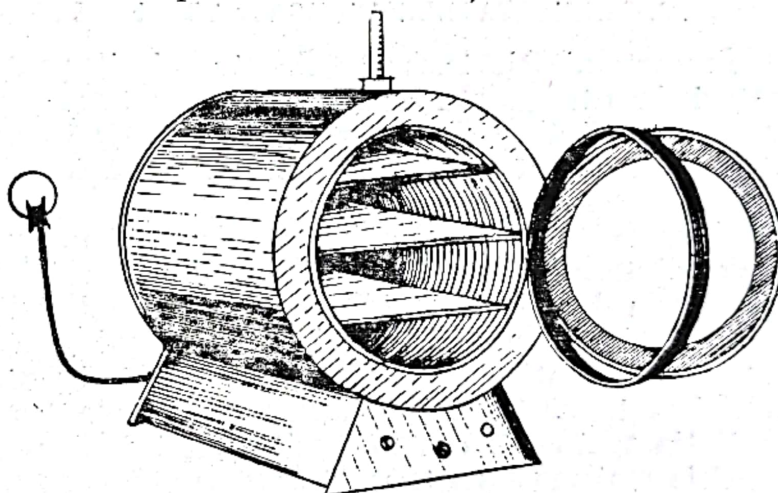


Fig. 135 — Termostat electric.

încălzire și readucerea lui. Aceste aparate au pereții dubli, spațiul dintre ei fiind umplut cu material termoizolant, pentru a se împiedica schimbul de căldură cu camera de lucru.

Pentru aparatele încălzite electric se construiesc numeroase reglatoare. Unul din cele mai simple este construit pe principiul următor: un tub în formă de U, cu ramurile (fig. 136) de diametru neegal, conține o cantitate de mercur în care se află introduse extremitățile a doi electrozi, conectați la rețeaua electrică. În ramura cu diametru mare se află hidrogen iar din cealaltă s-a scos aerul. Unul, din electrozi are legat în serie rezistența electrică a cărei încălzire furnizează căldura necesară termostatului. Dacă temperatura pentru care a fost reglat

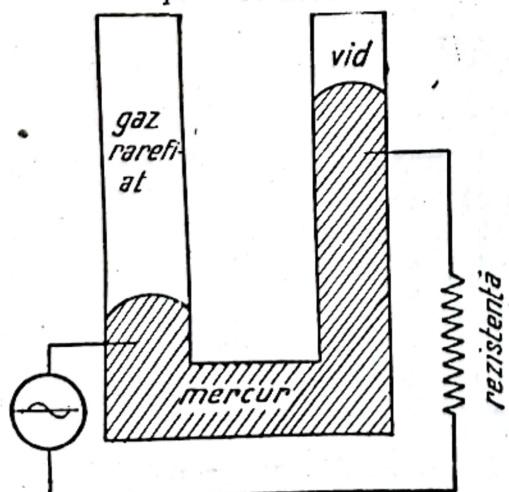


Fig. 136 — Reglator cu mercur pentru termostate electrice.

aparatură este depășită, hidrogenul se dilată, exercită o presiune asupra mercurului, care trece astfel în ramura cealaltă, și electrodul din ramura cu hidrogen rămâne afară din mercur; deci, circuitul se întrerupe; curentul nemăitrecînd, rezistența se răcește, așa că aparatul nu se mai încălzește cîtva timp, pînă cînd, hidrogenul contractîndu-se din cauza răcirii sistemului, mercurul revine la poziția inițială; curentul circulă astfel din nou, și rezistența încălzește din nou termostatul. Din cauza sensibilității termice a hidrogenului, temperatura se poate astfel menține constantă în limitele arătate.

Însămînțări și inactivări, diferite procese biologice și chimico-farmaceutice, ca și numeroase procese industriale, se desfășoară în termostate.

2. INCUBATOARE

În avicultură, termostatul este folosit sub forma de incubator (clocitoare). Temperatura la care se mențin ouăle, pentru clocire artificială, se obține într-un termostat de formă specială prin încălzire cu ajutorul unor lămpi sau cu rezistențe electrice.

3. TERMOSTATELE INCUBATOARE PENTRU COPII IMATURI

În maternități, termostatul este folosit pentru menținerea copiilor imaturi la o temperatură potrivită. Acest termostat este în esență o cutie mare cu pereți de sticlă obișnuită sau de sticlă organică (plexiglas); copilul se culcă înfășat pe o plasă metalică, ce se poate menține curată cu ușurință.

Temperatura termostatului este de 24° ; se dă aerului umiditatea necesară cu ajutorul unui vas cu apă aflat în partea inferioară. Aerația este asigurată prin deschideri de ieșire a aerului cald și intrare a celui proaspăt. Aerul, îmbogățit uneori cu oxigen, intră prin partea inferioară, se încălzește la o serpentină de aramă cu apă caldă și iese prin partea superioară. Încălzirea termostatului se face prin metoda termosifonului, adică prin circulația apei calde din cauza diferenței de densitate.

Cele mai moderne termostate de acest gen sînt încălzite electric, fie cu o rezistență electrică, fie cu un bec electric de mărime convenabilă. În fig. 137 *a* este redat un incubator electric modern, iar în fig. 137 *b*, un incubator cu dispozitiv special pentru administrat aer oxigenat.

VII. FRIGUL

Frigul este o treaptă coborîtă a nivelului termic, pe care o înregistrează simțurile noastre. Astfel, vara, o temperatură de 10° dă senzația de rece, pe cînd iarna este considerată ca o temperatură destul de ridicată.

În concepția idealistă a căldurii, tot așa cum a existat „caloric“, a existat și „frigorific“, acesta fiind agentul care aduce frigul. În concepția cinetică moleculară a căldurii, senzațiile de cald și frig se datoresc sporirii sau micșorării energiei termice. Adaosul de energie termică mărește energia cinetică moleculară, moleculele se mișcă mai repede, iar micșorarea energiei termice face ca energia moleculară să scadă; moleculele se mișcă mai încet, apare senzația de frig.

În medicină, aplicațiile frigului datează încă din epoca medicinei empirice. Astăzi se pun comprese reci, pungi cu gheață, se fac băi reci și băi de mare (talasoterapie), hidroterapie.

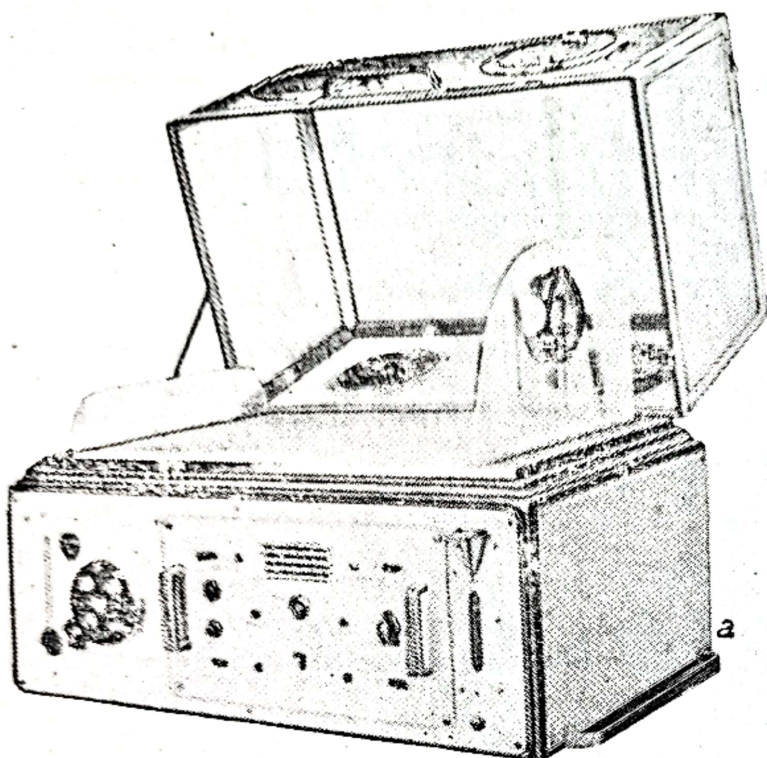


Fig. 137 a) Incubator electric (Chirana-Praga) pentru copii imaturi.

Copilul se așază în partea superioară, care este o cutie cu pereții de plexiglas; în partea inferioară se află aparatele de măsură, control, semnalizare, admiterea aerului, oxigenului, vaporilor de apă etc.

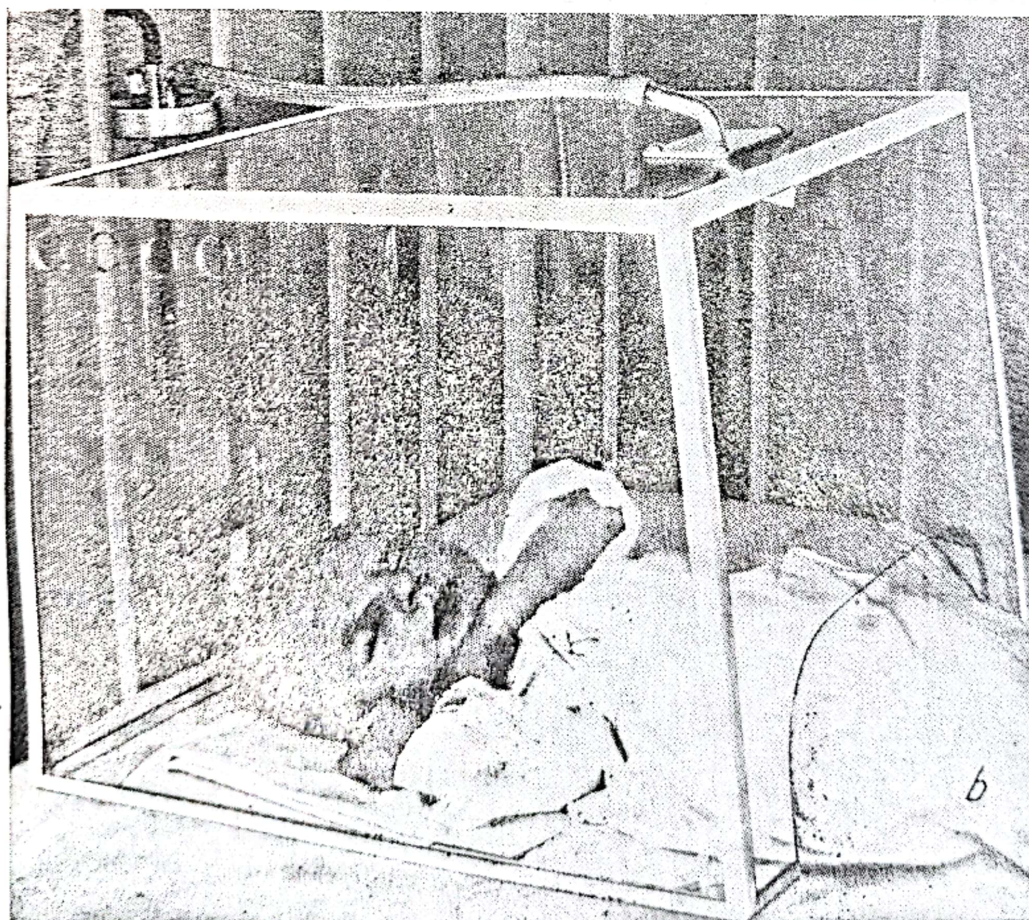


Fig. 137 b) Dispozitiv modern pentru administrarea de aer oxigenat copiilor prematuri.

Frigul produce o vasoconstricție periferică, apoi o vasodilatație periferică, urmată de o vasoconstricție profundă. Frigul este folosit și pentru obținerea anesteziei locale. Răcirea momentană produsă prin evaporarea eterului etilic sau a kelenului (clorură de etil) este utilizată pentru anestezia locală, pentru extracții dentare, operații etc.

Temperatura scăzută nu favorizează dezvoltarea microbilor. Astfel, vaccinul, culturile, alimentele sînt păstrate bine la o temperatură scăzută. Limfa vaccinală se poate conserva timp de un an la -5° fără a-și pierde însușirile.

Metodele de utilizare a temperaturilor scăzute în medicină constituie *crioterapia*.

Pentru casă, pentru laborator, pentru trenurile frigorifere, vapoarele frigorifere și antrepozitele frigorifere, pentru congelarea cărnii și peștelui, se întrebuintează diferite instalații frigorifere. Toate acestea sînt construite pe același principiu. Principiul acestor instalații frigorifere mici și mari constă în producerea frigului prin evaporarea unui lichid. Astfel, amoniacul lichid, prin evaporare, absoarbe căldură din mediul înconjurător, pe care-l răcește. Amoniacul gazos, care rezultă din evaporare, este apoi retransformat în amoniac lichid prin comprimare cu ajutorul unui compresor electric. Dacă mediul răcit prin evaporarea amoniacului este o soluție de sare în apă, aceasta își menține cîtva timp temperatura de -5° și chiar de -8° .

VIII. HIGROMETRIA

A. METODELE DE DETERMINARE A UMIDITĂȚII AERULUI

Higrometria studiază starea de umiditate a atmosferei. Metodele de determinare a umidității aerului sînt de două categorii: metode absolute și metode relative.

1. UMIDITATEA ABSOLUTĂ

Umiditatea absolută se măsoară prin cantitatea de apă în grame cuprinsă într-un metru cub de aer. S-au utilizat și se utilizează și în prezent o serie de metode empirice, simple, care, fără a fi de mare precizie, dau totuși indicații asupra stării higrometrice. Astfel se admite, din punct

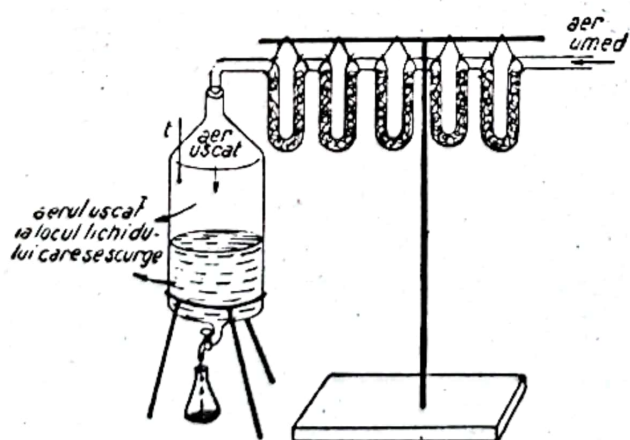


Fig. 138 — Determinarea umidității absolute a aerului.

de vedere igienic, că o încăpere închisă, de mărime obișnuită, în care 1 kg de var, proaspăt stins, își mărește în 24 de ore greutatea cu 10 g (adică a absorbit 1% apă) trebuie considerată ca umedă, deci nesănătoasă.

Determinarea umidității absolute se face pe cale chimică. Se folosește în acest scop un aparat pentru aspirat aerul și care este legat de o serie de tuburi în formă de U (fig. 138), în care se găsesc substanțe higroscopice: anhidrida fosforică (care

combinându-se cu apa dă acid fosforic), acid sulfuric și clorură de calciu (care absorb apa formând hidrați) etc. Se cântăresc tuburile cu substanță higroscopică înainte și după determinare, iar diferența de greutate m în plus este raportată la volumul de aer V în metri cubi care a trecut prin aparatul respectiv. Umiditatea absolută q este deci dată de relația $q = m/V$. Metoda este precisă, dar de manipulare greoaie pentru aplicații practice. Ea servește la etalonarea higrometrelor obișnuite și la determinări de laborator.

2. UMIDITATEA RELATIVĂ

Cunoașterea umidității absolute a aerului nu arată însă cât de mult se apropie sau se deosebește această umiditate de starea de saturație a atmosferei cu vapori de apă. Vara, din cauza temperaturii ridicate, o anumită cantitate procentuală de apă aflată în aer nu este observată, așa că avem senzația de aer uscat; obiectele ude se usucă repede. Iarna însă, din cauza temperaturii scăzute, aceeași cantitate de abur este saturantă, fapt care se recunoaște după formarea ceții.

Experiența arată că într-o încăpere putem răspîndi vapori de apă fără ca ei să fie saturanți, și aceasta în cantitate cu atât mai mare cu cât temperatura ambiantă este mai ridicată. De îndată ce se produce o răcire, o parte din vapori se condensează.

În practică, nu este necesar să se cunoască masa m de vapori dintr-un metru cub de aer, ci raportul dintre această masă și cantitatea maximă de vapori de apă M , care se pot afla în aer la acea temperatură, în cazul cînd atmosfera ar fi saturată cu vapori.

Cu cât acest raport m/M are o valoare mai apropiată de unitate, cu atât aerul este mai aproape de saturație cu vapori de apă. Acest raport poate deci servi la măsurarea gradului de umiditate a aerului, adică a stării higrometrice a acestuia.

Principiul care stă la baza metodei relative este următorul: umiditatea relativă se determină prin raportul dintre numărul de grame de vapori conținuți într-un metru cub de aer și numărul de grame de vapori saturanți care s-ar putea afla într-un metru cub de aer, în aceleași condiții de temperatură și presiune.

Dacă presiunea vaporilor de apă din aer este f , masa de vapori care se află într-un metru cub este

$$m = V \cdot A \cdot D \cdot \frac{f}{760} (1 + \alpha t), \quad (1)$$

în care V este volumul de aer, f este presiunea vaporilor de apă aflați în acest moment în aer, exprimată în torri, A este masa unui litru de aer în grame și D este densitatea vaporilor de apă în raport cu aerul.

Dacă aerul ar fi saturat cu vapori de apă, presiunea acestor vapori ar fi presiunea lor maximă F , care corespunde aceleiași temperaturi t la presiunea atmosferică. În acest caz, vom avea

$$M = V \cdot A \cdot D \cdot \frac{F}{760} (1 + \alpha t). \quad (2)$$

Făcînd raportul dintre relația (1) și relația (2), obținem

$$\frac{m}{M} = \frac{f}{F}.$$

Starea higrometrică a aerului la o anumită temperatură t se poate deci determina, nu numai prin raportul m/M al maselor de vapori actuali și saturanți, ci și prin raportul f/F dintre presiunea f a vaporilor de apă care există în atmosferă în momentul considerat și presiunea maximă F a vaporilor de apă care pot satura aerul la aceeași temperatură.

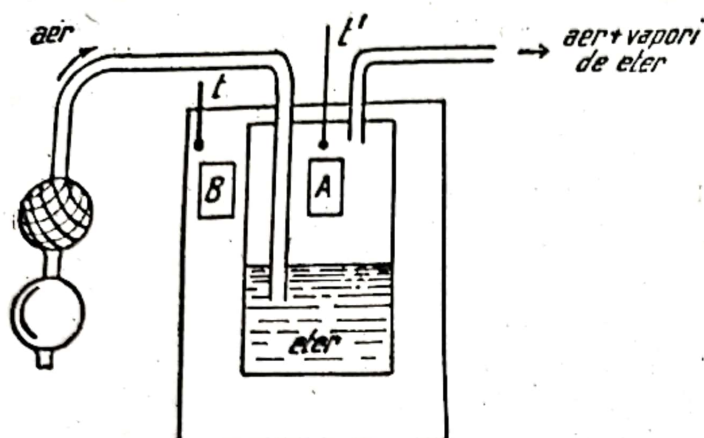


Fig. 139 — Schema higrometrului cu condensare.

densare. Principiul care stă la baza unui astfel de aparat este răcirea progresivă artificială a unei suprafețe metalice lucioase, pînă la temperatura t' , la care apare pe suprafața metalică un strat de rouă, deci pînă ce se condensează, pe suprafața răcită, vaporii de apă din aerul ambiant. Proporția de vapori din aer care s-au condensat la temperatura t' obținută artificial este însuși conținutul procentual de vapori al aerului la temperatura actuală t . Forța elastică f pentru temperatura t este forța elastică maximă pentru temperatura t' . Această forță elastică maximă se determină pe cale chimică, o dată pentru totdeauna și este trecută în tabele. Primele tabele au fost alcătuite de Regnault; ele au fost corectate de diferiți cercetători, pe măsura perfecționării metodelor și aparatelor de cercetare.

Forța elastică maximă F la temperatura de experimentare t este de asemenea cuprinsă în tabelele Regnault.

Observînd deci temperatura t' și t , și consultînd tabelele, se obțin valorile lui f și F , al căror raport f/F constituie starea higrometrică a atmosferei în momentul considerat.

În fig. 139 este reprezentat schematic un astfel de higrometru de condensare. Suprafața supusă răcirii o formează peretele subțire al unei cutii cilindrice de alamă. Pe acest perete, o porțiune A este aurită sau argintată și alături de ea, o porțiune la fel aurită sau argintată, însă care nu se răcește. Momentul apariției picăturilor minuscule de rouă se determină comparînd aceste două suprafețe alăturate; cea rece devine mată din cauza depunerii de rouă, iar cea care nu este răcită rămîne lucioasă. Se obține astfel „punctul de rouă”, adică temperatura t' , pe care o citim pe termometrul respectiv. Răcirea se obține, fie cu ajutorul unui curent

B. HIGROMETRE

1. HIGROMETRUL CU CONDENSARE

Pentru determinarea raportului f/F s-au construit diferite tipuri de higrometre. Cele mai precise sînt higrometrele cu con-

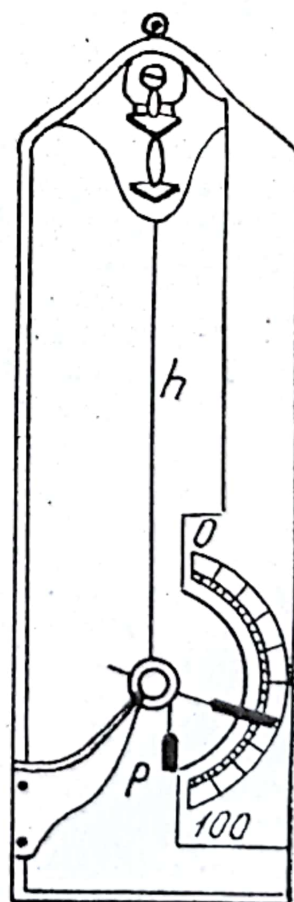


Fig. 140 — Higrometru cu fir de păr.

de aer trecut prin higrometru și care face să se evapore o cantitate de eter, fie prin adăugarea unor fragmente de gheață, de cristale de NH_4NO_3 etc.

Termometrul t arată temperatura aerului din jur, iar termometrul t' arată temperatura produsă artificial prin răcirea aparatului și la care apar picăturile de rouă produse prin condensarea vaporilor de apă din atmosferă. Calculul stării higrometrice se face așa cum am arătat mai înainte.

Sînt folosite și alte tipuri de higrometre, construite pe principiul determinării punctului de rouă: higrometrul Alluard, Daniell etc.

2. HIGROMETRUL CU FIR DE PĂR

Acest aparat, numit și higroscop, este mai puțin exact decît higrometrul cu punct de rouă. Construcția lui este mai simplă. Funcționarea higrometrului cu fir de păr se bazează pe proprietatea pe care o au firele de păr de a absorbi umiditatea din aer și de a se alungi mai mult sau mai puțin, după cantitatea de apă absorbită. La aer uscat, firul se scurtează fiindcă pierde apa prin evaporare. În fig. 140 este reprezentat un astfel de higrometru, al cărui fir de păr, fixat în partea superioară a aparatului, este trecut peste o roțiță mică și întins de greutatea p. Roțița este legată de un ac care se mișcă în fața unui sector circular; acest sector circular este gradat prin comparație. Gradația este astfel realizată, încît la aer uscat aparatul arată 0. După poziția acului se poate determina procentul de umiditate din aer. În fig. 141 este redat un higrometru de construcție modernă, în care indicatorul este mișcat de un mănunchi de fire de păr.

Se construiesc și higroscopice înregistratoare

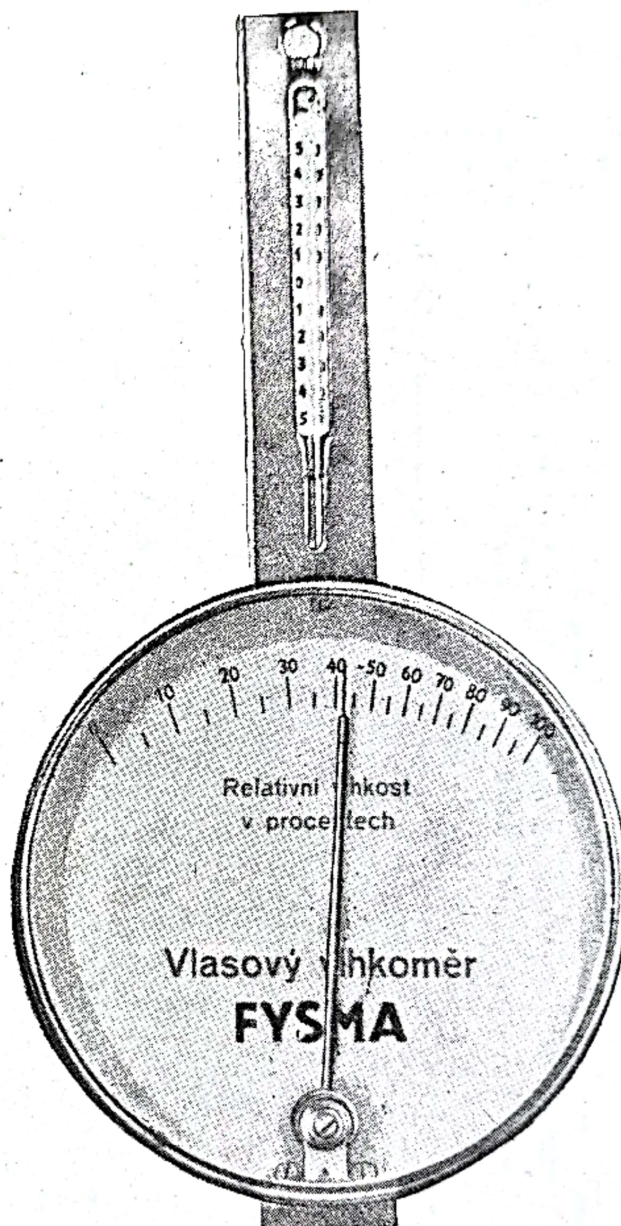


Fig. 141 — Higrometru cu mănunchi de fire de păr.

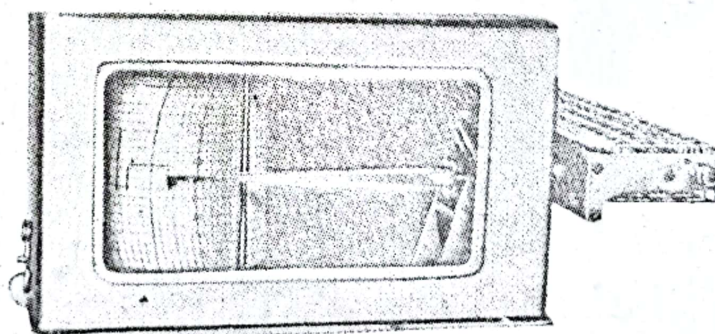


Fig. 142 — Higrometru înregistrator (higrograf).

numite higrografe (fig. 142); la aceste aparate, acul, printr-un sistem de pîrghii, acţionează un dispozitiv care înscrie o curbă pe un cilindru în mişcare de rotaţie. Se obţine astfel curba higrometrică pentru un interval de 1—5 zile.

3. PSIHIROMETRUL

Pentru determinarea stării de umiditate a aerului se utilizează frecvent un aparat numit psihometru.

Psihrometrul este format din două termometre aşezate foarte aproape unul de altul, pe acelaşi stativ; unul din termometre are rezervorul uscat, celălalt are rezervorul umed. Termometrul uscat indică temperatura aerului; înfăşurînd rezervorul termometrului al doilea cu un tifon al cărui capăt se află într-un vas cu apă (fig. 143), temperatura stratului de apă care înconjură tifonul va coborî din cauza evaporării apei. Termometrul al doilea va arăta deci o temperatură mai scăzută decît cel uscat.

Cu cît aerul din jur este mai uscat, cu atît mai repede se evaporă apa tifonului care acoperă rezervorul termometrului umed, şi cu atît mai mare este diferenţa dintre indicaţiile celor două termometre.

Observarea concomitentă a temperaturii t arătată de termometrul uscat şi a temperaturii t' arătată de termometrul umed permite calcularea răcelii produse de evaporarea apei de pe rezervorul umed; această răcire $t - t'$ este cu atît mai mare cu cît evaporarea este mai activă, şi deci cu cît forţa elastică a vaporilor de apă din aer este mai mică.

Determinarea forţei elastice a vaporilor din aer se face cu ajutorul expresiei stabilite experimental:

$$f = F - A(t - t')H,$$

unde f este forţa elastică a vaporilor din atmosferă în condiţiile de lucru; F este forţa elastică maximă a vaporilor de apă la temperatura la care se lucrează; H este presiunea atmosferică citită la barometru, iar A este o constantă a aparatului, care se determină o dată pentru totdeauna prin compararea lui f şi F cu un higrometru cu condensare.

Determinînd pe f din formula de mai sus şi cunoscînd pe F se poate calcula valoarea f/F , care reprezintă starea higrometrică a aerului în momentul dat; rezultatul se dă în procente.

S-a calculat starea higrometrică pentru fiecare diferenţă de temperatură; ea este cuprinsă în tabele (v. de ex. tabelul 17).

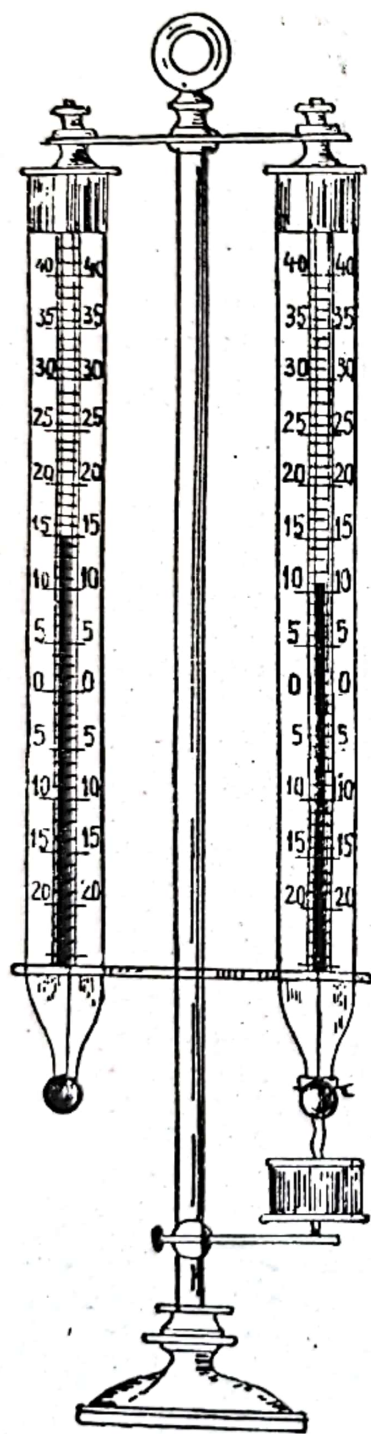


Fig. 143. — Psihometru.

Tabelul 17

Temperatura termometrului umed °C	Diferența dintre temperatura termometrului uscat și a celui umed					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	Umiditate relativă %					
5°	85	71	59	48	39	30
6°	85	72	61	50	41	33
7°	86	73	62	52	43	35
8°	86	74	63	54	45	37
9°	86	75	65	55	47	39
10°	87	76	66	57	48	41
11°	88	77	67	58	50	43
12°	88	78	68	59	52	44
13°	89	79	69	61	53	46
14°	89	79	70	62	54	47
15°	89	80	71	63	55	49

Psihrometrul permite o determinare expeditivă a stării higrometrice. De aceea, acest aparat este foarte mult folosit în practica igienică, agricolă, meteorologică. Uneori acest aparat, sau altele similare, poartă numele de *higrometru cu evaporare*, din cauza modului de determinare cu ajutorul evaporării, al factorului f , care permite calculul stării higrometrice.

Uneori se face aspirația mecanică a aerului, atât asupra termometrului uscat, cât și asupra celui umed, pentru a grăbi determinarea: un astfel de psihrometru de aspirație este arătat în fig. 144.

Pentru organismul uman, starea de umiditate a aerului are multă importanță. În respirație, vaporii de apă inspirați împreună cu aerul umezesc membranele alveolelor pulmonare și înlesnesc trecerea gazelor prin ele. Aerul uscat face ca organismul să piardă mai multă apă prin evaporare și să se răcească intens. În asemenea condiții apare senzația de sete. Într-un aer prea umed se produce în schimb o evaporare foarte redusă. Aceasta tulbură echilibrul termic al corpului uman, și în acest caz omul are senzația neplăcută de zăduf.

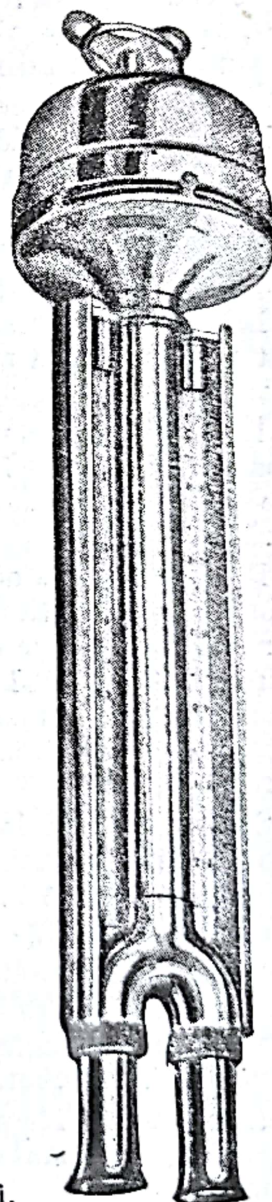


Fig. 144 — Psihrometru cu aspirația mecanică a aerului.

STUDIUL FENOMENELOR MOLECULARE

I. FENOMENE MOLECULARE

Materia a fost concepută încă de filozofii materialişti greci din antichitate ca fiind alcătuită din particule distincte, atomii. În secolul al XVIII-lea, această concepție ia formă de ipoteză atomică, în operele lui M. V. Lomonosov, care încearcă să construiască întreaga fizică pe baza concepției că un corp simplu constă dintr-un număr mare de particule absolut identice, din atomi.

Mai târziu s-a adăugat noțiunea de moleculă, care reprezintă, pentru orice corp compus, particula cea mai mică ce are încă însușirile caracteristice ale substanței respective.

Studiile numeroase făcute de fizicieni, chimiști, biologi, în acest domeniu, au creat un capitol nou al fizicii, cel al fizicii moleculare.

În cuprinsul acestui capitol se studiază și fenomenul termic, care am văzut că este datorit mișcării moleculare dezordonate a substanței, mișcare de natură vibratorie, de oscilație în jurul unei poziții de echilibru.

În afară de fenomenul termic, studiul fizicii moleculare cuprinde o întreagă serie de fenomene care studiază mișcări fără cauză aparentă, fenomene de mecanică moleculară, de energie superficială, atracție intermoleculară etc.

Pe de o parte, unele din aceste manifestări energetice fiind legate prin originea lor evidentă de fenomenul chimic, cum este căldura datorită reacțiilor chimice, iar pe de altă parte, în studiul analitic al substanțelor scoțându-se totdeauna în evidență însușirile lor fizice, aceste fapte au făcut ca numeroase fenomene fizice tipice să fie înglobate în studiul chimiei; acesta este cazul fenomenelor legate de starea coloidală și de dispersii în general.

Studiul acestui domeniu a primit la sfârșitul secolului trecut denumirea de chimie fizică, iar în domeniul biologiei și al medicinei, sinteza acestor cunoștințe a primit în deceniile trecute numele de fizico-chimie.

Cea mai justă denumire este cea de „știința fenomenelor moleculare”, fiindcă se referă la fondul fenomenelor, și nu la aspectele lor.

Tratând laolaltă fenomene uneori disparate și înglobate, din punct de vedere metodologic, în alte ramuri ale științei, fizica moleculară a atras din nou atenția cercetătorilor asupra ei.

În această parte a fizicii, fenomenele sint tratate mai mult intuitiv și, în general, mai mult din punct de vedere mecanic decât din cel termodinamic.

II. MECANICA MOLECULARĂ

Vom examina aici câteva din fenomenele moleculare de natură mecanică.

A. MIȘCAREA BROWNIANĂ

Examinînd la ultramicroscop suspensiile și soluțiile coloidale, se observă că particulele dispersate se găsesc într-o neconținută mișcare. Această mișcare, caracteristică pentru particulele de dimensiuni foarte mici, dispersate într-un mediu lichid sau gazos, se numește mișcare browniană, după numele botanistului Robert Brown, care a observat în 1827—1828 că polenul unor flori, presărat pe apă, nu stă liniștit, ci se află într-o agitație continuă, fără vreun motiv aparent. Chiar acoperind cu un clopot vasul și ferindu-l de orice trepidații, curenți de aer etc., mișcarea nu se oprește. Repetîndu-se experiența cu alte particule vegetale (pulbere de lycopodium etc.), se constată același lucru.

În concepția idealistă a epocii, s-a admis că această mișcare se datorește unei „forțe vitale”. S-a constatat însă curînd că mișcarea se produce și cu pulberi minerale fin divizate.

Mișcarea browniană se poate observa bine urmărind la ultramicroscop o granulă de gumă mastix suspendată în apă sau pulbere de rizom de lycopodium răsbindă pe apă. Mișcarea browniană nu încetează niciodată.

Wiener a afirmat încă din 1863 că mișcarea acestor particule nu-și are originea în particulele în mișcare și nici în vreo cauză exterioară lichidului, ci trebuie atribuită numai unor mișcări interne caracteristice stării lichide.

Moleculele lichidului, aflate în permanentă mișcare, ciocnindu-se de o particulă solidă, îi transmit acesteia o cantitate de mișcare oarecare. Dacă particula aflată în suspensie în lichid are dimensiuni mari, numărul moleculelor de lichid care acționează asupra ei din toate direcțiile este de asemenea mare, și acțiunea lor se compensează practic, menținînd corpul într-o stare de nemișcare aparentă. Dacă însă particula este foarte mică, un astfel de echilibru nu este totdeauna realizat: loviturile dintr-o parte sînt uneori mai puternice decît din partea opusă; astfel, particula este pusă în mișcare. Mișcarea browniană a particulelor se face deci sub influența mișcărilor dezordonate ale moleculelor lichidului. Aceste particule au mase de milioane de ori mai mari decît masa moleculelor considerate separat, iar vitezele lor sînt mici în comparație cu vitezele moleculelor; mișcarea lor poate fi observată la ultramicroscop.

Mișcarea browniană a fost observată și în medii gazoase. Bodașewski a constatat în 1881 existența acestei mișcări și la particulele solide și lichide aflate în suspensie în atmosferă.

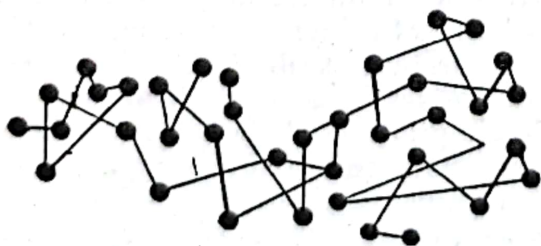


Fig. 145 — Traectoria unei particule în mișcare browniană (după Jean Perrin).

Caracteristica principală a mișcării browniene este, după Jean Perrin (1910), neregularitatea ei. În figura 145 este redată una din traiectoriile unei particule de gumă mastix cu diametrul de 0,53 microni, suspendată în apă. Pozițiile fiind luate la fiecare 30 desecunde, fiecare segment care unește, în figura 145, două poziții succesive este de fapt, la rîndul lui, o linie frîntă, formată din numeroase și mici

zigzaguri. În afară de mișcarea de translație, particulele sînt animate și de o mișcare de rotație în jurul unui punct, cu viteză la fel de neregulată.

Cercetările făcute de Einstein, Smoluchowski, Zsigmondy, Perrin, Svedberg, la începutul secolului al XX-lea, arată că mișcarea browniană se supune legilor mișcărilor moleculare; ea este însă condiționată de energia cinetică a particulelor, viteza lor fiind considerabil micșorată față de cea a moleculelor libere, din cauză că particulele în mișcare browniană sînt de milioane de ori mai mari decît moleculele obișnuite.

Importanța fenomenului brownian, care, ca orice mișcare, trebuie să fie efectul unei forțe, constă din faptul că ea arată existența unor forțe în lumea moleculelor, că ea face aparente forțele greu de sesizat, în mod direct, din lumea moleculelor.

Cercetarea citorva fenomene de dinamică moleculară duce la cunoașterea naturii și acțiunii acestor forțe moleculare.

B. COEZIUNEA

Moleculele aceluiași corp se atrag între ele în virtutea unei forțe numită coeziune. În toate stările de agregare, moleculele exercită unele față de altele această forță de atracție.

Moleculele infinit de mici se atrag între ele după aceleași legi ca și aștrii din macrocosmos; legea care conduce această atracție are expresia matematică analogă celei care exprimă forța gravitației universale, a atracției electrostatice, magnetice etc.

$$F = k \frac{m \cdot m'}{d^2}$$

O analiză cit de sumară a acestei expresii duce la concluzia că stările de agregare ale materiei sînt datorite distanței dintre molecule.

Substanțele solide, avînd distanța dintre molecule mai mică, au forța de coeziune mai mare. La lichide, distanța intermoleculară fiind mai mare, coeziunea are o valoare mai mică. De aceea lichidele se pot despărți atît de ușor în părți mai mici. În fine, gazele au moleculele depărtate, deci coeziunea lor este foarte mică.

La gaze, energia cinetică medie a mișcării moleculelor este suficientă pentru a învinge forțele de atracție dintre molecule; aceasta duce la faptul că moleculele gazului se deplasează în toate părțile și gazul ocupă întregul volum pe care-l are la dispoziție; la lichide, dimpotrivă, media energiei cinetice nu este suficientă pentru a învinge forțele de coeziune, și lichidele au un volum determinat.

Această dependență a stării de agregare de distanța dintre molecule este folosită și în practică. Astfel, pentru a avea bioxid de carbon lichid, se comprimă bioxidul de carbon gazos la 70 de atmosfere. Micșorîndu-se de 70 de ori distanța dintre molecule, coeziunea se mărește de $70^2 = 4\,900$ ori, și substanța gazoasă devine lichidă. La fel, gazele desbenzinate de sondă, izobutanul indeosebi, sînt comprimate pînă ce se lichefac și sînt debitate în butelii de oțel sub forma unui eter de petrol, lichid (aragaz, gaze lichefiate); la deschiderea robinetului, presiunea micșorîndu-se brusc, se produce o retransformare a lichidului în gaz, care, aprins, arde în aparatele respective.

Distanța pînă la care se poate exercita coeziunea este limitată. Forțele de interacțiune ale moleculelor descresc foarte repede cu distanța, astfel că

În practică este destul să luăm în considerare numai moleculele care sînt situate destul de aproape una de alta. Dacă se consideră în jurul moleculei date o sferă cu centrul în această moleculă și cu raza S , care se numește raza acțiunii moleculare sau raza de acțiune a forței de coeziune, această sferă se numește *sfera de acțiune moleculară*.

C. ADEZIUNEA

Adeziunea este forța care ia naștere între moleculele superficiale a două corpuri diferite, puse în contact.

1. ADEZIUNEA ÎN DIFERITE SISTEME

La contactul dintre un corp lichid și unul solid, întîlnim mai des cazul în care lichidul udă solidul: de exemplu, în sistemul apă/sticlă. O picătură de ploaie rămîne alipită de un geam vertical, deși greutatea ei ar trebui s-o facă să se rostogolească și să cadă; o baghetă de sticlă scoasă din apă are pe ea picături de apă. În acest caz, forța de adeziune este mai mare decît cea de coeziune, căci adeziunea a împiedicat menținerea corpului lichid în forma inițială și a produs despărțirea unor picături din masa lichidului. O picătură de apă pe o placă de sticlă nu rămîne sferică, ci se turtește, fiindcă moleculele plăcii atrag puternic pe cele ale apei. Moleculele mai apropiate sînt mai mult atrase, iar coeziunea dintre ele face să fie atrase și cele mai depărtate; picătura ia o formă turtită (fig. 146).

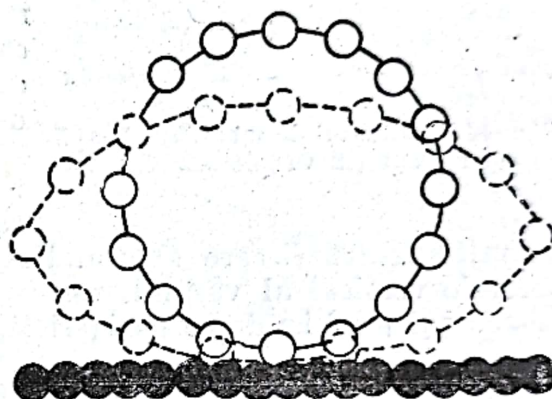


Fig. 146 — Turtirea unei picături de apă pe o placă de sticlă, din cauza adeziunii.

Există și sisteme în care adeziunea nu se exercită. Astfel, dacă introducem o baghetă de sticlă într-un vas cu mercur, nu aderă la baghetă nici o picătură din acest lichid. Mercurul nu udă sticla, deoarece coeziunea dintre moleculele mercurului este mai puternică decît adeziunea dintre mercur și sticlă. Datorită coeziunii, o picătură de mercur de volum mic rămîne aproape sferică pe o placă de sticlă. Numai cînd picătura este mai mare se observă o turtire parțială, dar aceasta nu se datorește adeziunii de sticlă, ci greutății proprii a mercurului.

Lichidele care udă corpul solid se întind pe suprafața acestuia, iar lichidele care nu udă solidul (mercurul, fonta topită, argintul topit ș.a.) nu se întind pe suprafața corpului solid.

Se denumește de obicei adeziune pozitivă cea care este mai mare decît coeziunea, și adeziune negativă, cea care este mai mică decît coeziunea.

2. ASCENSIUNEA ȘI DEPRESIUNEA LICHIDELOR ÎN VASE

Observînd apa dintr-un vas, constatăm că suprafața ei are forma unui plan orizontal, cum s-a arătat la studiul hidrostaticii, însă numai pînă în apropierea pereților vasului. În vecinătatea imediată a peretelui vasului, apa se ridică. Această ascensiune a lichidului are loc din cauză că un prim

strat de molecule aderă de sticlă; prin coeziune, acest strat atrage un al doilea, iar acesta pe un al treilea etc. La straturile mai depărtate, adeziunea apei de sticlă scade din cauza măririi distanței, iar coeziunea devine mai mare decât adeziunea, așa că, după câteva rânduri de molecule, ascensiunea, devenită din ce în ce mai mică, se anulează, și suprafața lichidului devine orizontală. Deci, aflarea unui lichid într-un vas pe care-l udă are drept rezultat o ascensiune a lichidului în apropierea peretelui.

Dacă într-un pahar se află mercur, adeziunea nu predomină, greutatea

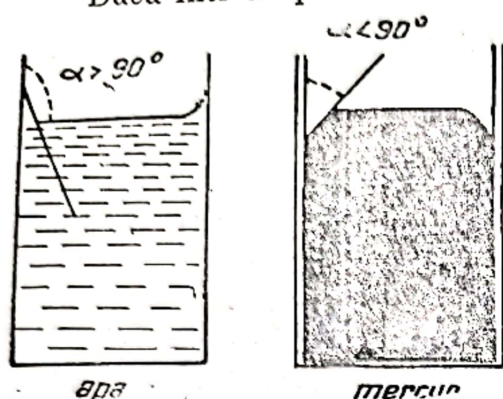


Fig. 147—Unghiul de racordare la apă și mercur (în vas de sticlă).

mercurului face ca el să ia forma păharului, iar coeziunea dă formă curbă părții din suprafața mercurului din apropierea pereților paharului.

Suprafața apei într-un pahar are formă de menisc concav; acesta se poate observa mai bine într-o eprubetă cu diametrul destul de mic. În aceleași condiții mercurul formează un menisc convex, care este cu atât mai vizibil cu cât mercurul se află într-un vas de sticlă cu diametrul mai mic.

Mărima ascensiunii lichidelor care udă corpul solid și a depresiei celor care nu udă corpul solid are o valoare

anumită pentru fiecare sistem. Unghiul format de tangenta la lichid cu peretele vertical al vasului, spre partea cu lichid, este totdeauna același la aceeași pereche de corpuri (sticlă/apă, alcool/sticlă, mercur/sticlă). Acest unghi, numit *unghi de racordare*, este ascuțit la corpurile care udă solidele, și obtuz la cele care nu le udă; în figura 147, unghiul α este suplimentul unghiului de racordare.

D. TENSIUNEA SUPERFICIALĂ

1. FENOMENE DE SUPRAFAȚĂ

Suprafața de separare a două medii (apă/aer, apă/ulei, alcool/aer etc.) are caracterul unei membrane elastice. Acest fapt a fost pus în evidență de Pasteur, care a făcut experiența următoare: presărind puțină pulbere de lycopodiu pe apă, introduce în apă, vertical, o vergea de sticlă unsă cu grăsime. Vergea nu „sparge” lichidul, așa cum s-ar fi întâmplat dacă s-ar fi înfipt un cuțit în gheață. Lichidul se deplasează treptat; suprafața sa se întinde ca și cum ar fi o membrană de cauciuc subțire, ceea ce se poate observa privind pulberea de lycopodiu; aceasta coboară după vergea, pe care o îmbracă în felul unui deget de mânășă (fig. 148). Scoțind vergea de sticlă din apă, pulberea de lycopodiu, care are rolul de a face vizibilă variația formei și mărimii suprafeței apei, revine la suprafață împreună cu lichidul.

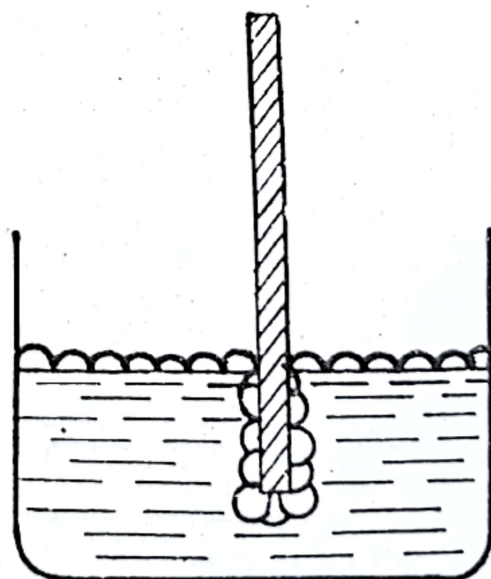


Fig. 148—Experiența lui Pasteur, privitor la tensiunea superficială.

Această revenire a suprafeței apei se aseamănă cu revenirea unei membrane elastice la forma de la început, după ce a încetat forța care a deformat-o.

Revenirea se datorește unei forțe de suprafață, care trage orizontal și întinde suprafața pînă ce dispare deformația suferită din cauza vergelei de sticlă. Această forță de suprafață se numește tensiune superficială.

Fenomenul poate fi pus în evidență printr-o serie de experiențe, dintre care următoarea duce la concluzii teoretice privitoare la natura fenomenului. Un cadru metalic se introduce într-un amestec lichid format din 2 volume glicerină pură și 3 volume apă de săpun (25 g săpun de ulei dizolvat în 1 litru apă). De cadru se prinde o membrană de săpun subțire, transparentă și destul de persistentă. Așezăm pe această membrană un fir subțire de bumbac sau de mătase, înnodat în formă de inel (fig. 149). Acest fir va lua o formă oarecare, deoarece asupra fiecărui punct al lui acționează forțe egale, care se echilibrează. Dacă străpungem pelicula de săpun în interiorul inelului, forțele nu vor mai fi echilibrate, iar partea peliculei din afară îl va întinde în formă de cerc. Întinderea acestui inel se datorește forțelor de la suprafața membranei care trag în toate direcțiile.

Se știe că un ac subțire de cusut, trecut prin păr sau frecat în mină (pentru a se acoperi cu un strat foarte subțire de grăsime), poate pluti la suprafața apei, deși oțelul are densitatea aproape 8. Privit în secțiune, acul pare așezat pe o membrană elastică. La fel, unele insecte, deși au corpul mai greu decît apa, se pot totuși menține pe suprafața apei și se pot deplasa pe ea (fig. 150).

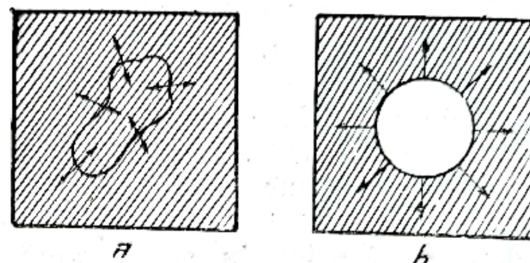


Fig. 149 — Forțele de suprafață la o membrană de săpun.

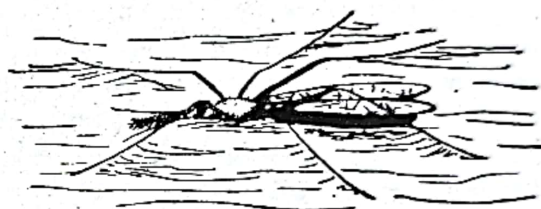


Fig. 150 — Insectă care se menține pe apă datorită tensiunii superficiale.

2. CAUZELE TENSIUNII SUPERFICIALE

Una din explicațiile originii forței de suprafață este următoarea (fig. 151): Considerînd suprafața *AB* de separare dintre lichid (apă) și gaz (aer),

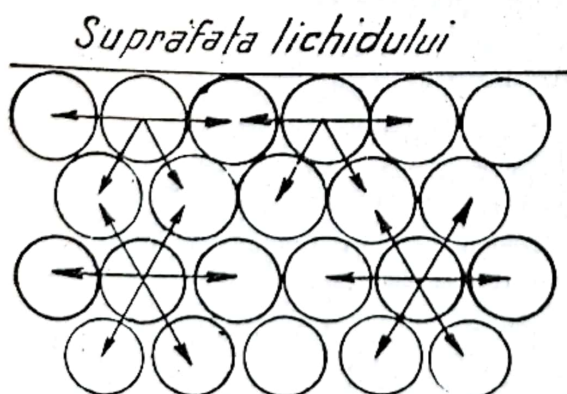


Fig. 151—Originea forțelor de suprafață.

se observă că moleculele interioare de lichid se deosebesc de cele de la suprafața lichidului. O moleculă din interiorul lichidului suportă o acțiune uniformă din partea moleculelor înconjurătoare: rezultantele acestor forțe moleculare sînt deci nule. Asupra moleculelor de lichid de la suprafață, acțiunea forțelor intermoleculare este alta. Aici forțele nu sînt orientate egal în toate direcțiile, ci numai spre interiorul lichidului și de-a lungul suprafeței de separație; gazul de de-

asupra lichidului, avînd moleculele foarte departe una de alta, acțiunea moleculelor gazoase asupra moleculelor superficiale de lichid este foarte mică și se poate neglija, fiindcă distanța dintre moleculele superficiale de lichid și moleculele de gaz este mai mare decît raza de acțiune a moleculei de lichid. Rezultă evident că, la suprafața lichidului, apare un cîmp de forțe T , care creează suprafeței de separare o proprietate specială, dîndu-i calități asemănătoare celor ale unei membrane elastice.

În fine, un fenomen mai complex, legat de tensiunea superficială, se poate pune în evidență prin faptul că o picătură mică de ulei, aflată într-un lichid de aceeași densitate și cu care nu se amestecă (de exemplu alcool), ia o formă sferică. Picătura de ulei fiind mică, influența gravitației nu se face practic simțită. Fenomenul se produce și la cantități mai mari de ulei, dacă vom compensa forța gravitației cu ajutorul presiunii lichidului de jos în sus, după legea lui Arhimede. Astfel, dacă introducem o cantitate de ulei într-un amestec de apă și alcool în care proporțiile sînt astfel alese, încît forța gravitației care acționează asupra uleiului să fie compensată prin presiunea de jos în sus a amestecului alcool + apă, forma regulată, sferică, pe care o ia uleiul se datorește propriilor lui forțe moleculare. Trecerea unei mase de lichid de la o formă geometrică oarecare la forma sferică este legată de micșorarea suprafeței, deoarece, din toate corpurile geometrice, sfera are, pentru un volum dat, cea mai mică suprafață. Astfel, pentru 1 cm^3 de substanță oarecare, sfera are suprafața de $4,9 \text{ cm}^2$, cubul are suprafața de 6 cm^2 , iar o panglică subțire, lungă de 1 m , lată de 1 cm și groasă de o sutime de cm (deci, avînd tot volumul de 1 cm^3) are suprafața de 200 cm^2 pe cele două fețe, fără a mai ține seama de suprafața laterală a acestui paralelipiped.

Pentru a putea măsura tensiunea superficială, care este o mărime fizică, trebuie să ținem seama de faptul că această forță este cu atît mai mare, cu cît lungimea l pe care se exercită este mai mare.

Expresia tensiunii superficiale este deci $F = \sigma l$.

Coeficientul σ depinde de forțele intermoleculare ale lichidului, și se numește coeficient de tensiune superficială sau, mai pe scurt, tensiunea superficială; valoarea lui fiind $\sigma = \frac{F}{l}$, tensiunea superficială este deci numeric egală cu forța aplicată pe unitatea de lungime a marginii suprafeței membrane lichide. Tensiunea superficială, fiind un raport între o forță și o lungime, se măsoară în dine/cm .

Fizicianul sovietic G. S. Gorelik arată că între suprafața unui lichid și o membrană elastică există deosebiri: astfel, în timp ce forța elastică a unei membrane variază cu mărimea suprafeței membranei, tensiunea superficială variază numai cu lungimea pe care se exercită forța.

3. INFLUENȚA GRADULUI DE DISPERSIE

Valoarea tensiunii superficiale a unei substanțe crește cu gradul de dispersie al substanței, din cauză că, pe măsură ce acest grad crește (particulele sînt mai mici), suprafața totală a substanței dispersate este mai mare. Un exemplu intuitiv îl prezintă creșterea suprafeței totale a unei particule cubice cu volumul de 1 cm^3 , prin divizarea treptată, în cuburi din ce în ce mai mici (tabelul 18).

Ca o consecință a creșterii suprafeței, crește și energia superficială, și deci variază și proprietățile fizice (solubilitatea, de exemplu), cele chimice (activitatea chimică), cele catalitice etc.

Variația suprafeței cu gradul de dispersie

Lungimea muchiei cubului (cm)	Numărul de parti- cule rezultate prin divizarea unui centi- metru cub	Suprafața totală a particulelor (cm ²)
1 cm	1	6.1 cm ² = 6 cm ²
1 mm	10 ³	6.10 ¹ = 60 „
0,1 mm	10 ⁶	6.10 ² = 6 dm ²
0,01 mm	10 ⁹	6.10 ³ = 60 „
1 μ	10 ¹²	6.10 ⁴ = 6 m ²
0,1 μ	10 ¹⁵	6.10 ⁵ = 60 „
0,01 μ	10 ¹⁸	6.10 ⁶ = 600 „
1 mμ	10 ²¹	6.10 ⁷ = 6 000 m ²

4. DEPENDENȚA TENSIUNII SUPERFICIALE DE TEMPERATURĂ

Creșterea temperaturii provocând îndepărtarea particulelor între ele, și deci slăbirea forței de atracție intermoleculară, tensiunea superficială scade pe măsura ridicării temperaturii substanței. În cursul ridicării temperaturii dispăre la un moment dat deosebirea dintre faza lichidă și cea de vapori. D. I. Mendeleev a stabilit (1860) existența unei temperaturi la care tensiunea superficială devine egală cu zero; el a numit-o temperatura de fierbere absolută, iar mai târziu a fost numită temperatura critică.

A. I. Bacinski a arătat (1921) că tensiunea superficială depinde și de structura moleculei substanței studiate.

5. DETERMINAREA TENSIUNII SUPERFICIALE

Pentru a determina tensiunea superficială a unui lichid pur sau a unei soluții, se pornește de la premisa experimentală cunoscută sub numele de „legea picăturilor”: o picătură se desprinde de extremitatea unui tub capilar când greutatea ei întrece valoarea forței datorite tensiunii superficiale; pentru un tub, valoarea tensiunii superficiale este $2\pi r\sigma$, în care r este raza tubului și σ coeficientul de tensiune superficială. Se poate deci scrie:

$$p = 2\pi r\sigma \quad (1)$$

adică: greutatea picăturii este proporțională cu tensiunea superficială a lichidului.

Determinarea tensiunii superficiale se poate face prin două metode: metoda dinamică și metoda statică. Prin metoda dinamică se măsoară tensiunea superficială la suprafața proaspătă a lichidului; ea este mai potrivită pentru soluții. Prin metoda statică se măsoară tensiunea superficială la o suprafață mai veche, formată mai de mult, și este mai potrivită pentru lichide pure (apă, alcool, glicerină, eter etc.).

a) **Metoda dinamică.** Pentru aplicarea metodei dinamice s-au imaginat mai multe procedee, din care vom examina procedeul Traube și procedeul Alioșin.

Stalagmometrul Traube (fig. 152) este folosit în modul următor:

Presupunem o picătură de lichid de greutatea $p = mg$, care are tensiunea superficială σ . Dar din relația (1) avem

$$mg = 2\pi r\sigma, \quad (2)$$

și cum masa este egală cu produsul dintre volumul V și densitatea d , avem

$$Vdg = 2\pi r\sigma. \quad (3)$$

Notînd cu n numărul de picături care alcătuiesc volumul V aflat între două repere ale aparatului Traube, avem $V = nv$, de unde $v = \frac{V}{n}$.

Expresia (3) devine $\frac{d}{n} Vg = 2\pi r\sigma. \quad (4)$

Pentru un al doilea lichid, luat ca sistem de referință, avem aceeași expresie, însă cuprinzînd pe σ' , d' și n' , adică

$$\frac{d'}{n'} Vg = 2\pi r\sigma'. \quad (5)$$

Împărțind expresia (4) prin (5) obținem

$$\frac{\sigma}{\sigma'} = \frac{d}{d'} \cdot \frac{n'}{n},$$

relație care este independentă de raza r a orificiului de scurgere.

În mod obișnuit se ia drept lichid de referință apa care are $\sigma' = 73$ dine/cm la temperatura obișnuită. Deci, tensiunea superficială σ a lichidului examinat va avea valoarea

$$\sigma = 73 \frac{d}{d' (\text{apă})} \cdot \frac{n' (\text{apă})}{n} \text{ dine.}$$

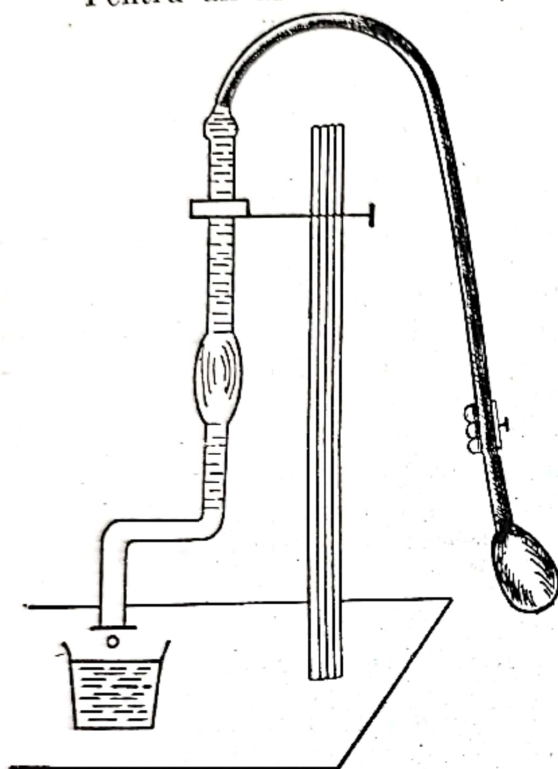


Fig. 152 — Stalagmometrul Traube.

losește, pentru determinarea tensiunii superficiale un procedeu care se deosebește de cel al lui Traube: în timp ce prin stalagmometrul Traube se determină numărul de picături, variabil de la lichid la lichid, pentru un anumit volum aflat între două repere A și B de pe stalagmometru, în procedeul Alioșin se ia un număr anumit de picături, egal la ambele lichide, și se determină volumul căruia îi corespunde acest număr de picături la fiecare din cele două lichide. În locul numărului de picături apare deci în expresia tensiunii superficiale volumul unui anumit număr de picături.

Expresia tensiunii superficiale este

$$\sigma = \sigma' \frac{V_1 d_1}{V_0},$$

în care d_1 este densitatea lichidului examinat, σ este tensiunea superficială a acestui lichid, σ' este tensiunea superficială a apei (73 dine/cm), V_0 este volumul unui anumit număr de picături din substanța de examinat, iar V_1 = volumul aceleiași număr de picături de apă distilată (la 4,2°).

Pentru a se determina direct volumul, aparatul (fig. 153) are forma unei biurete gradate, și numai regiunea inferioară are formă de tub capi-

lar, avind partea terminală lătită și șlefuită. Se numără 100 de picături începînd din momentul cînd nivelul lichidului este la diviziunea 0. Diviziunea la care a ajuns lichidul după curgerea a 100 de picături arată direct volumul; operația se face, atît pentru lichidul de examinat, cît și pentru apă.

Determinarea tensiunii superficiale prin metoda picăturilor, aplicată în ambele procedee, dă loc la unele erori. Astfel, dacă lichidul udă sticla (cum este de cele mai multe ori cazul), diametrul părții superioare a picăturii corespunde diametrului exterior al tubului. Trebuie deci ca unghiul de racordare, care depinde de tensiunea superficială a lichidului, să fie cît mai mic posibil și ca, în general, forma picăturii să fie sensibil aceeași pentru diferitele lichide cu care se lucrează. Aceasta se remediază dînd părții terminale a stalagmometrului forma arătată.

O altă cauză importantă de erori este evaporarea. Pentru a se evita evaporarea, Kopaczewski a construit un aparat numit tonometru ce permite formarea picăturilor într-o atmosferă saturată cu vaporii lichidului cu care se lucrează, la o temperatură bine determinată.

b) **Metoda statică**, aplicată pentru determinarea tensiunii superficiale, se mai numește și metoda desprinderii. În această metodă se determină forța necesară pentru a desprinde un inel de platină (atîrnat de platanul unei balanțe și echilibrat cu greutăți) pus în contact cu un lichid. Forța F care reține inelul la suprafața lichidului se determină punîndu-se pe platanul opus al balanței greutăți pînă ce forța F este

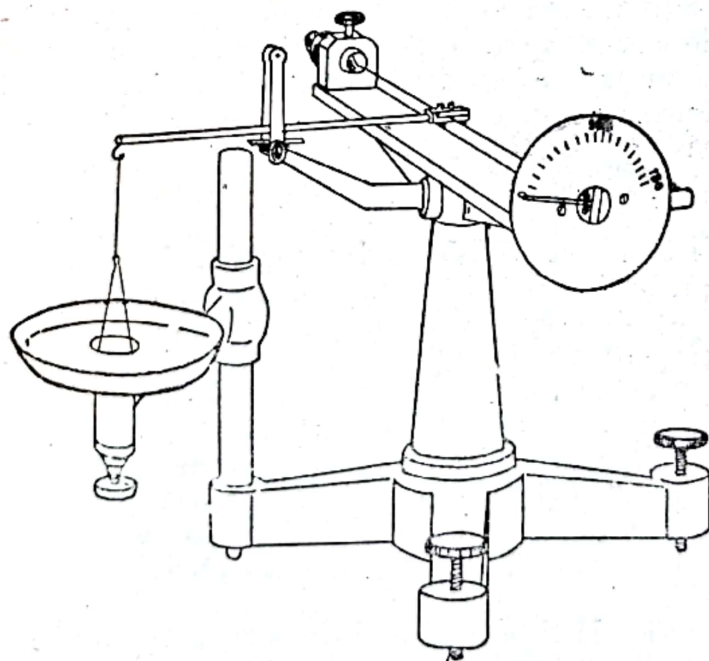


Fig. 154 — Tensiometru pentru determinarea statică a tensiunii superficiale (după Lecomte de Nouy).

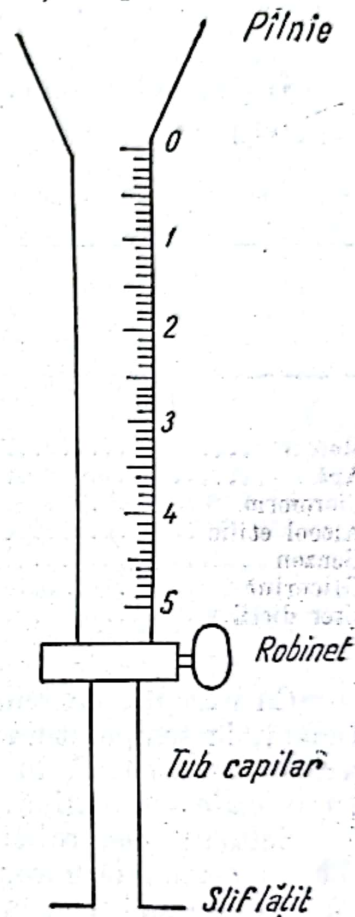


Fig. 153 — Stalagmometrul Alioșin.

depășită și inelul se desprinde.

$$F = mg = 2 l \sigma,$$

unde l este lungimea circumferinței inelului; această lungime se ia de două ori, pentru cele două perimetre (interior și exterior) ale inelului, care sînt sensibil egale, inelul fiind foarte subțire. Din această expresie se calculează valoarea tensiunii superficiale

$$\sigma = \frac{mg}{2 l}.$$

Pentru a se evita zdruncinătura produsă de așezarea greutăților pe platanul balanței, se determină tensiunea superficială σ cu ajutorul unei balanțe de torsiune (numită în acest caz tensiometru), etalonată dinainte (fig. 154).

În general, valorile obținute prin metoda dinamică sînt mai mici decît cele obținute prin metoda statică.

6. TENSIOACTIVITATEA

În tabelul 19 sînt redată cîteva tensiuni superficiale ale diferitelor lichide pure:

Tabelul 19

Lichidul	Tensiunea superficială (dine/cm)	Temperatura la care s-a făcut determinarea (°C)
Mercur	470	18
Apă	73,7	18
Cloroform	27	20
Alcool etilic	20	20
Benzen	30	12
Glicerină	65	18
Eter dietilic	17	15

Cu excepția mercurului, apa este corpul lichid a cărui tensiune superficială, la temperatura ordinară, este cea mai mare. Pentru o coborîre a temperaturii cu 5°, în jurul temperaturii de 20°, tensiunea superficială a apei scade cu o dină.

Soluțiile electrolitice folosite în mod curent au, cu unele excepții, tensiuni superficiale apropiate de cea a apei. Există însă unele substanțe care, prin dizolvare, modifică mult tensiunea superficială a solventului. Aceste substanțe se numesc tensioactive. Cele mai multe substanțe dizolvate în apă coboară tensiunea superficială a acesteia. Tensiunea superficială a acestor soluții, lăsate în repaus după o agitare, variază cu timpul pînă la o valoare limită.

Plecînd de la considerații teoretice, Gibbs a descoperit o lege importantă, verificată de experiență, și care se poate enunța astfel: substanțele dizolvate care coboară tensiunea superficială a unui lichid sînt mai concentrate la suprafața lichidului; pentru substanțele care urcă tensiunea superficială, fenomenul decurge în sens invers. Moleculele substanțelor care intră în această din urmă categorie nu se găsesc la suprafața soluției apoase, ceea ce se poate verifica studiind reflecția luminii la suprafața soluției. Dimpotrivă, substanțe cum sînt oleatul de sodiu, care coboară tensiunea superficială a soluției, se concentrează la suprafața ei. Această concentrare se face cu timpul și poate fi determinată prin măsurători făcute periodic cu ajutorul balanței de torsiune.

În general, tensiunea superficială-limită a unei dispersii, în care substanța este foarte fin dispersată (cum sînt de exemplu soluțiile coloidale), depinde de raportul dintre suprafața totală a substanței și volumul ei, care

variază cu gradul de dispersie, așa cum s-a arătat în tabelul 17. Acest raport determină concentrația moleculelor tensioactive în stratul superficial.

Experiența arată că neomogenitatea acestor soluții dispăre cu vremea; aceasta explică de ce suprafața proaspăt creată (picătura din metoda stalagmometrică) nu este în echilibru superficial stabil, de ce cifrele obținute cu metoda statică nu sînt egale cu cele cîpătate prin metoda dinamică și de ce, pentru lichidele pure, metoda dinamică este de preferat.

7. TENSIUNEA SUPERFICIALĂ A LICHIDELOR DIN ORGANISM

Lichidele din organism, fiind în general soluții saline apoase, au o tensiune superficială mai mică decît a apei curate.

Suprafața lichidelor organice din celulele și capilarele corpului este enormă față de volumul lor. Proteinele trebuie să fie deci concentrate la suprafața acestor lichide în straturi monomoleculare, al căror rol are o importanță deosebită pentru schimbul de substanțe.

a) **Serul sanguin uman** are, în medie, tensiunea superficială de 67 dine/cm. Această cifră variază în anumite stări patologice. Anestezicele sînt tensioactive; ele coboară tensiunea superficială a sîngelui. Tensiunea superficială a serului scade cu timpul, datorită acumulării progresive a moleculelor de proteine la suprafață (fig. 155).

Coborîrea tensiunii superficiale a unei soluții prin acumularea unor molecule de oleat de sodiu la suprafața ei permite recunoașterea prezenței urmelor de proteine; miclele proteinice avînd proprietatea de a fixa oleatul de sodiu, acesta nu se mai poate așeza la suprafață pentru a micșora tensiunea superficială. Se pot astfel descoperi cantități infime de proteine (de ordinul $1/50\,000\,000$).

b) **Urina normală** are tensiunea superficială de 70 dine/cm, deci apropiată de cea a apei. Prezența sărurilor biliare și a acizilor biliari coboară foarte mult tensiunea superficială, aducînd-o chiar pînă la 50 dine/cm. În clinică este folosită această însușire pentru detectarea unor cazuri de icter sau de leziuni hepatice. Cercetarea se face cu floare de sulf, pe baza reacției lui Hay. Într-un pahar conic, conținînd 50–100 ml urină filtrată, se presară puțină floare de sulf care a fost spălată în prealabil cu alcool și eter, și uscată la etuvă la o temperatură mai mică de 100° . Dacă pulberea de sulf cade imediat la fund, sau în cel mult 5 minute, urina conține săruri biliare. Acestea, micșorînd tensiunea superficială a urinei, pulberea de sulf nu mai poate sta la suprafață și cade la fund. Reacția este sensibilă chiar cînd se află în urină săruri biliare în proporție de $1/100\,000$.

Reacția Hay este însă pozitivă și cînd bolnavul a luat anumite medicamente: cloroform, substanțe fenolice etc., care au și ele ca rezultat coborîrea tensiunii superficiale.

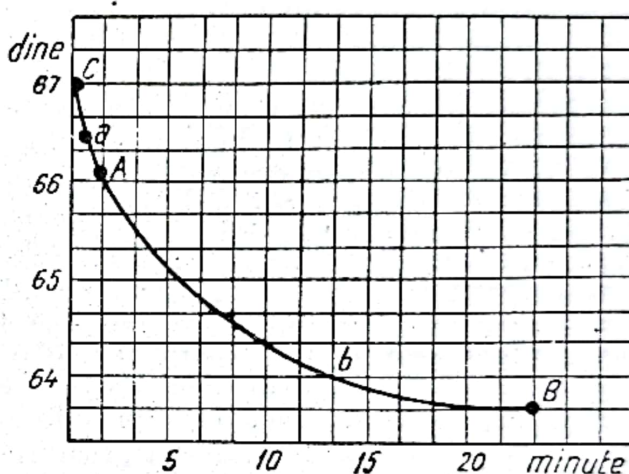


Fig. 155 — Scăderea tensiunii superficiale a serului cu timpul.

• *Picătorul*. Tensiunea superficială este folosită și la standardizarea și folosirea picătorului. Pentru dozarea medicamentelor se utilizează un tub de sticlă care are diametrul exterior, la gură, de 3,3 mm; acest tub dă la temperatura obișnuită 20 de picături de apă distilată pentru un gram. Alte lichide dau alt număr de picături pe gram; totdeauna, însă, numărul picăturilor este același pentru același lichid, cu un picător de același diametru și în aceleași condiții de lucru. Așa cum am arătat la teoria stalagmometrului, picătura se rupe de la gura tubului când greutatea ei depășește cu foarte puțin forța de tensiune superficială, care o ține la gura tubului ca o membrană elastică.

E. ADSORBȚIA

Adsorbția este un fenomen de suprafață, în timp ce absorbția are loc în toată masa substanței. Cantitatea de substanță adsorbită crește deci cu suprafața corpului adsorbant. De aceea, corpurile fin divizate, poroase, pulverulente, care au o suprafață foarte mare din cauza stării de diviziune avansată, au capacitate adsorbantă foarte mare.

A. V. Dumanski observă (1913) că la suprafața anumitor particule fin divizate există totdeauna învelișuri lichide stabile, care îngreunează contopirea particulelor. În această categorie se află pulberile de ZnO , Fe_2O_3 , MgCO_3 etc. La cărbunele de fum, cauciuc etc., astfel de pelicule lichide nu există. Mai târziu, același autor a emis o ipoteză asupra lichidului adsorbit la suprafața particulelor care se umezesc ușor cu apa (liofile).

Dereaghin a studiat umezirea și a arătat existența unui strat variabil de lichid, foarte aderent la suprafața particulelor solide; el a arătat că acest strat poate atinge uneori grosimi importante, chiar 0,075 μ .

Este interesant de examinat fenomenul de adsorbție la limita diferitelor sisteme posibile: solid/gaz, lichid/gaz, lichid/lichid și solid/lichid.

1. ADSORBȚIA ÎN SISTEMUL SOLID/GAZ

Corpurile solide cu suprafață mare, pulverulente sau poroase, au o mare capacitate de adsorbție pentru gazele și vaporii cu care vin în contact. Cărbunele de lemn moale (de tei, plop, paltin etc.), spălat cu apă, încălzit la 60° și apoi uscat în etuvă, are o porozitate mare. Se prepară un „cărbune activat” prin încălzirea cărbunelui, în absența aerului, într-un curent de vaporii de apă. Cărbunele activat are porozitatea mărită; el adsoarbe cu ușurință mari cantități de gaze și este utilizat pentru reținerea gazelor toxice din aer (măști de gaze pentru mineri, pentru pompieri, pentru reținerea gazelor toxice de luptă etc.). Această calitate de a adsorbi gazele este folosită și în medicină. Cărbunele vegetal se administrează intern în afecțiuni gastro-intestinale, în intoxicații cu pește, în balonări etc.

Gazul adsorbit poate să formeze pe suprafața corpului solid un strat monomolecular, în funcție de prezența unor forțe mari de atracție între moleculele gazului și cele ale corpului solid. Aceste forțe de atracție se pot exercita însă numai la distanțe foarte mici; de aceea, când pe primul strat de molecule gazoase adsorbite de o substanță solidă se depune și un al doilea strat gazos, asupra acestuia nu mai acționează corpul solid, coeziu-

nea slabă a gazelor neputînd menține pe corpul solid și al doilea strat. Experiența arată că un corp solid care a fost în contact cu un gaz degazează gazul adsorbit dacă este introdus într-un recipient din care se scoate aerul. Deci, în vid, stratul de molecule se rupe treptat și se desparte de suprafața corpului solid. Cu cît temperatura este mai mare, cu atît degajarea gazului de pe suprafața corpului solid se face mai repede.

Adsorbția servește în tehnica vidului la obținerea unui vid foarte înaintat, necesar diferitelor categorii de tuburi electronice cu vid. În acest scop folosim însușirea cărbunelui de lemn activat de a adsorbi gaze, mai ales la temperaturi joase. Vasul *A* (fig. 156), din care s-a scos aerul cu ajutorul pompei de vid, este legat cu vasul *B*, care conține cărbune degazat în prealabil; se scufundă vasul cu cărbune în aer lichid; la temperatura de -184° , el va adsorbi resturile de gaz din vasul *A*. Astfel se poate obține un vid de ordinul 10^{-6} mm Hg, necesar tuburilor Röntgen, kenotroanelor și altor tuburi electronice cu vid.

Cărbunele animal, cunoscut și sub denumirea de „negru animal”, obținut prin calcinarea moderată a oaselor, este alcătuit din oseina carbonizată, iar aceste particule extrem de mici de cărbune sînt așezate pe particulele de fosfat de calciu și magneziu din care este alcătuită partea minerală a oaselor. Datorită suprafeței enorme a acestor particule, cărbunele animal este un bun adsorbant, atît pentru gaze, cît și pentru substanțe solide și lichide. Pentru gaze, adsorbția este cu atît mai mare cu cît temperatura este mai coborîtă. Astfel la $+20^{\circ}$ un gram de cărbune animal adsoarbe 7,5 ml hidrogen, la -70° adsoarbe 19,5 ml; iar la -185° adsoarbe 284 ml hidrogen.

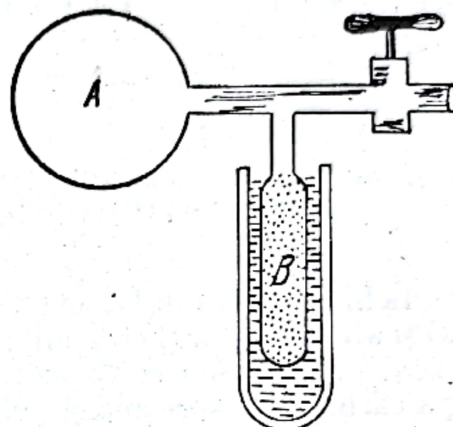


Fig. 156 — Adsorbția gazelor prin cărbune răcit în aer lichid.

2. SISTEMUL LICHID/GAZ

Datorită adsorbției în sistemul lichid/gaz, în trompa de apă, trecerea curentului de apă care antrenează moleculele de gaz poate evacua gazul dintr-un recipient pînă la un vid destul de înaintat.

3. SISTEMUL LICHID/LICHID

Adsorbția în acest sistem prezintă cîteva aspecte foarte interesante. O picătură de substanță uleioasă turnată pe apă, cum este cazul uleiului de parafină sau al altei hidrocarburi uleioase, care nu cuprinde grupe polare, nu se întinde pe apă, ci formează, dacă este destul de mică, o sferă care plutește pe apă, iar dacă este mai mare se turtește din cauza propriei sale greutate. Dacă substanța uleioasă cuprinde grupe polare, cum este cazul acidului oleic de exemplu, grupa polară $-\text{COOH}$ pătrunde în apă, iar grupa nepolară, lanțul radicalului de hidrocarbură $\text{C}_{17}\text{H}_{33}$, se menține vertical pe suprafața apei. Se formează astfel la suprafața apei un strat adsorbit monomolecular, de grosimea moleculei de acid oleic. La acizii care au greutatea moleculară a radicalului de hidrocarbură mai mică decît cea a grupei polare $-\text{COOH}$, cum este cazul acidului acetic, propionic

și butiric, atracția apei față de acid este atât de mare, încît molecula este proiectată înăuntrul apei și dizolvată.

De la acidul caproic $C_5H_{11}COOH$ în sus, partea nepolară este mai grea decît cea polară, și acidul gras este adsorbit. Experiențe numeroase și calculele făcute de Langmuir în modul arătat mai înainte pentru acidul oleic arată că tuturor acizilor grași, începînd de la acidul palmitic $C_{15}H_{31}COOH$ și pînă la acidul cerotic $C_{25}H_{51}COOH$, le corespunde pentru o moleculă aceeași suprafață care are valoarea $21 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$, fiindcă toți

acești acizi au drept suprafață de contact cu apa o singură grupă polară $-COOH$. Schematic, stratul monomolecular de acid adsorbit de apă are aspectul din figura 157. Un exemplu de adsorbție orientată, importantă în biologie, este cel în care avem un sistem format din

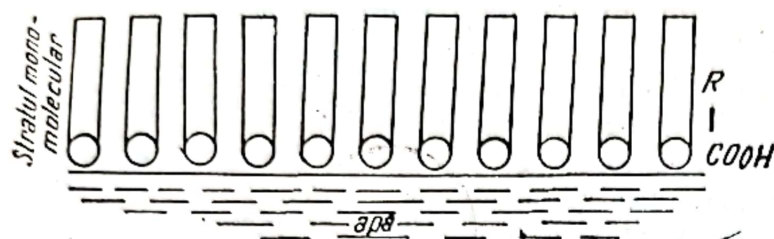


Fig. 157 — Strat monomolecular de acid gras la suprafața apei.

două lichide nemiscibile, de exemplu apă și benzen, unde unul este polar (apa) și altul nepolar (benzenul); dacă introducem în acest sistem o cantitate de acid gras, acesta se va orienta la suprafața de contact apă/benzen cu grupa carboxilică spre apă și radicalul de hidrocarbură spre benzen.

4. SISTEMUL SOLID/LICHID

La limita fazelor solid/lichid avem de asemenea cazuri interesante de adsorbție. Adsorbantul are uneori capacitatea de adsorbție selectivă: mai intensă față de unele substanțe și mai puțin intensă față de altele. Astfel, hidroxidul de aluminiu fixează numai coloranți acizi, iar silica și taninul numai coloranți bazici. Cărbunele animal este folosit în industria zahărului pentru înlăturarea substanței galbene-cafenii din zahărul nerafinat, în distilările de spirt pentru purificarea alcoolului etilic, în fabricile de ulei comestibil pentru purificarea uleiului vegetal. Fierbînd o soluție de indigo, de turnesol, de albastru de metilen, cu puțin cărbune de oase, obținem prin filtrare soluția decolorată; aceasta se datorește faptului că prezența unui adsorbant cu o suprafață atât de mare înlesnește scindarea colorantului în acidul și leucobaza respectivă.

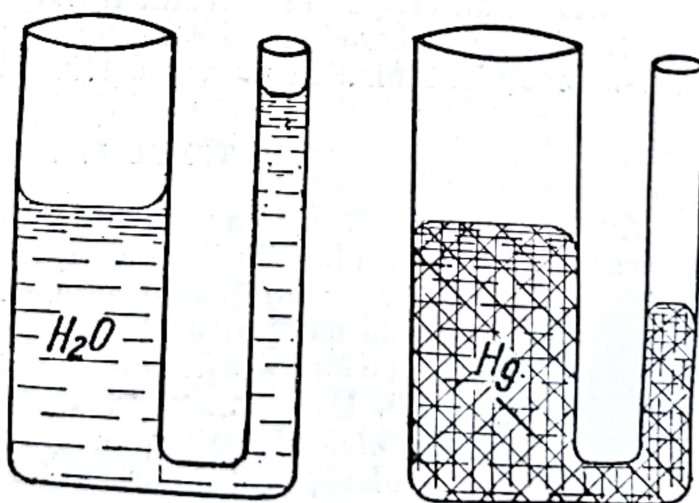


Fig. 158 — Ascensiunea și depresiunea lichidelor în capilare.

F. CAPILARITATEA

Capilaritate se numește fenomenul de ridicare în tuburi capilare a nivelului li-

chidelor care udă vasul și de coborire a acestui nivel la lichidele care nu udă pereții vasului. Prin capilare se înțeleg tuburile sau spațiile similare care au lumenul mai mic de 1 mm.

Capilarele au însușiri care le grupează într-o categorie aparte, cu statica și dinamica lor proprie.

1. STATICA CAPILARELOR

În vase comunicante cu un diametru destul de mare, lichidele au același nivel, pentru motivele arătate la capitolul de hidrostatică. Dacă însă unul din vase comunicante are dimensiuni capilare, atunci lichidul care udă vasul se urcă în capilar mai mult decât în vasul cu diametrul mare. Mercurul coboară în capilarul de sticlă față de nivelul din celălalt tub.

a) **Bazele teoretice.** În aparență, ascensiunea și depresiunea lichidelor în capilare, fiind contrare legii atracției gravitației, trebuie să le atribuim unei forțe legate de dimensiunile capilarelor. Această forță se numește capilaritate, și este rezultanta forțelor de adeziune, de coeziune și de tensiune superficială, așa cum vom arăta mai departe.

Dacă se consideră două vase comunicante, unul cu diametrul destul de mare și altul cu diametrul capilar, unghiul de racordare este același pentru lichidul și perețele vasului; dar, în timp ce la vasul cu diametrul mare se stabilește un menisc concav, la care ascensiunea lichidului se face pe o porțiune mică lângă pereți, la tubul capilar, meniscul, fiind format aproape numai de păturile aderente, este foarte deformat (fig. 160); din cauza tensiunii superficiale, lichidul căpătînd suprafața cea mai mică posibilă, meniscul se urcă, unghiul de racordare menținîndu-se de aceeași mărime. Ridicarea lichidului în capilar se face de la punctul m la m' , deci în tub vom avea o ascensiune.

Pentru mercur, fenomenele se petrec în sens invers. Unghiul de racordare al mercurului face ca, într-un vas cu diametrul mare, meniscul să fie convex; la un tub capilar, apropierea acestor pereți face ca meniscul convex să aibă o suprafață foarte mare, și în acest caz tensiunea superficială face ca suprafața foarte convexă să se micșoreze, deci nivelul să coboare de la m la m' (fig. 159), unghiul de racordare rămînînd același.

b) **Legea Borelli-Jurin.** Ascensiunea și depresiunea apei nu se fac la întîmplare, ci după legea descoperită și enunțată de medicii Borelli și Jurin (1684—1750). Legea staticii capilarelor arată că înălțimile la care se urcă (sau coboară) și se mențin două coloane de lichid în două tuburi capilare sînt invers proporționale cu razele capilarelor, măsurate în punctul unde se formează meniscul. Se poate deci scrie:

$$\frac{h}{h'} = \frac{r'}{r}$$

unde h și h' sînt înălțimile iar r și r' razele capilarelor.

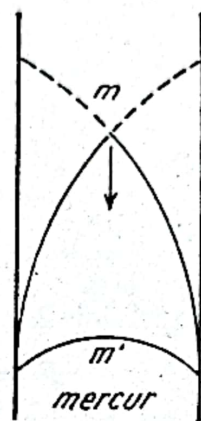


Fig. 159 — Depresiunea în tub capilar.

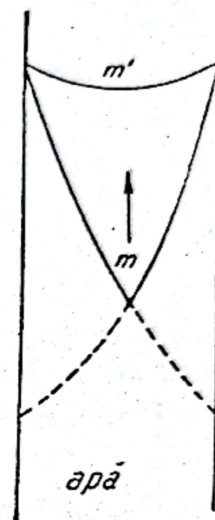


Fig. 160 — Ascensiunea în tub capilar.

Expresia arată că ascensiunea sau depresiunea este independentă de natura substanței din care este făcut tubul capilar; aceasta se datorește faptului că ascensiunea capilară se face prin adeziune numai în ce privește primul strat care captează vasul. Al doilea strat de molecule se menține ridicat mai mult prin coeziune față de primul, al treilea față de al doilea etc., așa că înălțimea de ascensiune depinde aproape în întregime de coeziunea și de tensiunea superficială a lichidului; este deci neglijabilă influența materialului din care este făcut capilarul.

Dacă tubul capilar nu are același diametru în diferitele lui regiuni, lichidul își formează meniscul la înălțimea care corespunde diametrului pe care îl are în regiunea unde se formează meniscul.

Ascensiunea capilară servește în laborator ca metodă de determinare a tensiunii superficiale. Menținerea coloanei de lichid într-un tub capilar se datorește — după cum s-a văzut — forțelor de adeziune, de coeziune și de tensiune superficială care ridică suprafața lichidului, dându-i astfel dimensiunea cea mai mică. Are loc deci în acest caz o echilibrare a forței de gravitație și a celei de tensiune superficială. Greutatea lichidului este dată de relația

$$G = \pi r^2 h d g,$$

unde r este raza și h înălțimea capilarului, d densitatea și g accelerația gravitației în locul respectiv.

Forța de tensiune superficială are expresia

$$F = 2 \pi r \sigma,$$

în care σ este coeficientul de tensiune superficială.

Egalând cele două forțe G și F , vom avea:

$$2 \pi r \sigma = \pi r^2 h d g,$$

de unde avem valoarea lui σ

$$\sigma = \frac{r h d g}{2}$$

Pentru a putea determina tensiunea superficială prin această metodă este de-ajuns să cunoaștem raza r a tubului capilar, înălțimea h la care se urcă lichidul, densitatea sa d și accelerația gravitației în locul de experimentare. Determinarea întâmpină oarecare dificultăți din cauza greutății de măsurare a razei tubului capilar.

c) Fenomenele de statică a capilarelor în biologie și medicină sînt numeroase și importante. Pătrunderea lichidelor prin corpurile poroase se datorește capilarității, porii fiind ca niște canale capilare care favorizează ascensiunea lichidelor. Ascensiunea sevei în plante este datorită în bună parte și capilarității.

În medicină, vata folosită nu poate fi întrebuințată așa cum a fost scoasă din capsula de bumbac, fiindcă firul de bumbac este învelit într-o membrană foarte subțire, numită cuticulă, bogată în materii grase și care o face impermeabilă pentru apă. Numai spălînd bumbacul cu o soluție de NaOH 3%, această grăsimă este saponificată și cuticula înlăturată; astfel se obține vata hidrofilă, utilizată în practica medicală. Drenurile chirurgicale, dentare etc. se bazează de asemenea pe capilaritate.

În igiena locuinței întîlnim efectele capilarității la înlăturarea igrasiei, care se datorește unei ascensiuni prin capilaritate, prin cărămizi de calitate inferioară, a unei cantități de apă, în pereți; această apă menține umed

aerul în încăperi și favorizează anumite îmbolnăviri. De aceea, la construcțiile noi, ceva mai sus de nivelul solului, se așază un strat de substanță hidrofugă (asfalt, bitum etc.), care oprește ascensiunea capilară a apei în pereți.

2. DINAMICA TUBURILOR CAPILARE

În hidrodinamică s-a examinat cazul general al curgerii unui lichid printr-un vas cu diametru mare, unde frecarea de peretele vasului micșorează viteza de curgere numai a unei mici părți a lichidului. În tuburile cu lumen mic, cantitatea de lichid care se freacă de peretele vasului este mai mare decât restul lichidului care curge mai liber, diametrul vasului fiind aproape în întregime ocupat de stratul aderent de perete.

a) **Rezistența opusă de capilar la curgere.** Experiența arată că o cantitate de lichid aflată într-un capilar de sticlă, vertical, deschis la ambele capete, nu curge, rezistența de frecare fiind mai mare decât forța gravitației. Ba mai mult, lichidul nu poate fi expulzat în anumite cazuri decât exercitând o presiune mare.

În studiul hemodinamicii s-a arătat că, din cauza fenomenelor caracteristice capilarității, singele întâmpină în arteriole și capilarele arteriale o rezistență mare, pe care efortul inimii trebuie s-o învingă.

Dinamica tuburilor capilare a fost studiată de Poiseuille pentru a putea interpreta just fenomenele de capilaritate din circulația sanguină. Pentru o presiune mijlocie și pentru tuburi de rază mică, Poiseuille a găsit următoarea relație experimentală între debitul Q al tubului (cantitatea de lichid care curge în unitatea de timp), raza r , lungimea l a tubului și presiunea p care provoacă curgerea în tubul capilar:

$$Q = k \frac{pr^4}{\eta l}$$

unde k este o constantă de proporționalitate ($k = \frac{\pi}{8}$).

Această expresie arată că debitul unui capilar este proporțional cu presiunea exercitată, cu puterea a patra a razei și invers proporțional cu lungimea tubului; în formulă apare mărimea η , care se numește coeficient de vâscozitate.

Dacă coeficientul de vâscozitate se mărește, trebuie să se mărească și presiunea ce se exercită asupra lichidului sau să se mărească calibrul capilarului, pentru ca debitul să rămână constant. Această problemă va fi prezentată în paragraful despre vâscozitate.

b) **Emboliile gazoase.** Într-un capilar, coloana de lichid se pune greu în mișcare, chiar exercitându-se asupra ei o presiune, dacă din loc în loc este întreruptă de mici cantități de gaz, asemănătoare unor mărgelile, numite embolii gazoase.

Observând una din aceste bule gazoase dintr-un tub capilar, cu lichid, vom vedea că este mărginită de două meniscuri convexe spre lichid, dacă acesta udă pereții tubului capilar (fig. 161). Dacă nu se exercită nici o forță exterioară și dacă tubul este cilindric, aceste două meniscuri sînt de formă egală și exercită presiuni egale asupra lichidului.

Dacă se produce o presiune suplimentară, dintr-o anumită parte, de exemplu din partea stîngă a tubului, meniscul stîng se va turti, iar gazul se va deplasa înspre meniscul drept, care va căpăta o formă alungită.

Presiunile fiind invers proporționale cu razele de curbura, presiunea din bula de gaz va fi mai mică la stînga și mai mare la dreapta. Rezultanta acestor forțe va fi deci îndreptată de la dreapta spre stînga, opunîndu-se astfel mișcării bulei și deci a lichidului în tub.

În cazul șirului de bule, care constituie embolia gazoasă, trebuie exercitată o presiune de cîteva atmosfere pentru a mobiliza lichidul.

c) **Aplicații medicale.** Toate acestea explică de ce prezența aerului sau a azotului în vasele sanguine de calibru mic oprește circulația din ele. Acest fel de embolii se produc de exemplu, cînd se deschid venele gîtului, unde, presiunea sîngelui fiind inferioară celei atmosferice, aerul este absorbit în vasele sanguine. Am arătat la paragraful despre dinamica gazelor că asemenea embolii se produc în vasele celor supuși unei decompresiuni rapide,

cum este cazul la revenirea la suprafață a muncitorilor care lucrează în scafandre sau în chesoanele subacvatice, la o presiune mai mare decît cea atmosferică. Azotul dizolvat în sînge se degajează brusc (legea lui Henry), astfel că nu poate fi eliminat treptat prin plămîn, și formează bule ga-

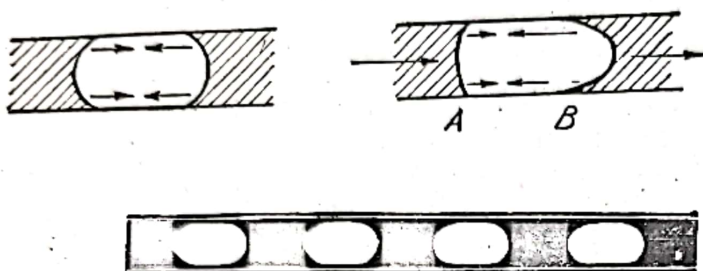


Fig. 161 — Embolii gazoase

zoase în vasele sanguine, împiedicînd circulația la nivelul capilarelor respective. În aceste cazuri, ca și în cele ale tratamentului cu aer comprimat, formarea emboliilor gazoase se previne printr-o decompresiune treptată și lentă.

G. VISCOSITATEA

Lichidul în mișcare este considerat compus dintr-un șir de straturi elementare (lame) care alunecă unul peste altul; prin frecarea lor se determină frecarea interioară, numită și frecare laminară.

Frecarea dintre straturile vecine în interiorul lichidului constituie viscozitatea lui; în natură, aceste valori de viscozitate variază între limite largi, așa că există toate stările intermediare între starea fluidă aproape perfectă și starea solidă.

La studiul corpurilor solide am văzut că mișcarea unui corp solid aflat în contact cu altul face să apară o forță rezistentă, numită forță de frecare, care încetinește mișcarea.

În timp ce frecarea dintre corpurile solide se datorește întrepătrunderii asperităților și fenomenelor de adeziune, frecarea internă a lichidelor se datorește ciocnirilor moleculelor.

Viscozitatea este o proprietate generală a fluidelor, atît gaze, cît și lichide. După teorii mai noi, substanțele solide în stare amorfă nu sînt decît substanțe în stare extrem de viscoasă.

1. COEFICIENTUL DE VISCOSITATE

Să considerăm o suprafață plană S_2 în lichid departe de suprafața sa liberă și avînd suprafața de 1 cm^2 . Deplasîndu-se, ea comunică o forță de antrenare f unei suprafețe plane S de 1 cm^2 , așezată la o distanță de

1 cm (fig. 162). Această forță de antrenare este proporțională cu viteza v a deplasării relative potrivit relației

$$f = \frac{\eta s v}{d}$$

și cum $s = 1$ și $d = 1$, avem

$$f = \eta v,$$

unde η este coeficientul de viscozitate.

Forța de antrenare f exprimându-se în dine, coeficientul de viscozitate η se exprimă în dine pe cm^2 pe secundă, adică în unități CGS ($\text{dine}/\text{cm}^2/\text{s}$).

Fizicianul rus G. V. Rihman (1711—1753) a propus ca unitatea de viscozitate să fie denumită poize (poază) în cinstea lui Poiseuille. Poaza reprezintă de 100 de ori viscozitatea apei la 20° .

Viscozitatea lichidelor depinde de temperatură. Ea crește când temperatura lichidului coboară, dacă nu intervin modificări chimice în substanța studiată și invers. După S. E. Friș, viscozitatea uleiurilor depinde aproape numai de temperatură. Viscozitatea uleiului de ricin devine aproape de patru ori mai mică atunci când temperatura sa trece de la 18 la 40° . Recent, P. L. Kapița, a pus în evidență faptul că heliul lichid, la temperatura de circa -270° , trece într-o stare specială, suprafluidă, în care viscozitatea sa este egală cu zero.

Această variație a viscozității în raport invers cu temperatura se poate observa bine la apă; viscozitatea absolută a apei la diferitele temperaturi este redată în tabelul 20. Pentru alte substanțe, cum este de exemplu glicerina, variația cu temperatura este și mai mare.

Tabelul 20

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Viscozitatea (în poaze)
0	0,017 97
20	0,010 00
40	0,006 56
60	0,004 73
80	0,003 27
100	0,002 99

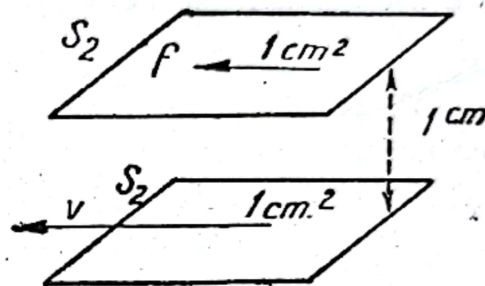


Fig. 162 — Planul S_1 antrenează într-un mediu viscos planul S_2 .

2. VISCOZIMETRIA

Viscozitatea a fost studiată de Stokes în legătură cu căderea corpurilor în lichide. Am văzut că un corp, căzând în vid, capătă o mișcare accelerată datorită forței constante a gravitației. În aer, căderea unei sfere de volum mic și greutate mare este apropiată de cea accelerată, eroarea nefiind prea mare. Dacă însă lăsăm să cadă aceeași sferă de densitate mare într-un lichid, ea capătă o viteză constantă, fiindcă frecarea interioară a lichidului, adică viscozitatea lui, echilibrează la o anumită viteză acțiunea gravitației. Mișcarea devine astfel uniformă. Stokes a descoperit astfel legea care arată că viteza de cădere într-un lichid este cu atât mai mică, cu cât lichidul este mai viscos (legea lui Stokes). Această lege permite determinarea viscozității relative a lichidelor folosind timpul de cădere ca element de lucru.

Viscozitatea fiind o constantă fizică caracteristică pentru diferite substanțe, determinarea ei are o importanță deosebită în studiile de biologie și medicină, și servește și la caracterizarea diferiților reactivi, a substanțelor medicamentoase etc.; în tehnică, determinarea viscozității este de asemenea prețuită.

Viscozimetria este ansamblul metodelor și procedeele de determinare a viscozității. Metodele de determinare sînt de două categorii: metode absolute și metode relative.

Viscozitatea absolută se măsoară în unități CGS. În practică, se preferă de cele mai multe ori măsurarea viscozității relative, care este mai expeditivă. Această *viscozitate relativă*, sau specifică, reprezintă raportul dintre viscozitatea lichidului studiat și viscozitatea apei luată ca lichid de referință.

Viscozitatea relativă sau specifică a unui lichid se măsoară prin raportul dintre timpul cît durează, în condiții egale, curgerea unui anumit volum de lichid și timpul cît durează curgerea aceluiași volum de apă distilată, raport înmulțit cu densitatea lichidului examinat.

Viscozitatea relativă se determină plecînd de la formula pe care am văzut-o stabilită de Poiseuille la studiul capilarității:

$$Q = k \frac{pr^4}{l\eta} \quad (1)$$

de unde

$$\eta = \frac{kpr^4}{lQ} \quad (2)$$

$$\text{în care } k = \frac{\pi}{8}.$$

Acestei expresii i se poate da forma

$$\eta = \frac{\pi}{8} \left(\frac{hdgr^4}{lv} t \right) \quad (3)$$

unde η este coeficientul de viscozitate, v = volumul lichidului curs în timpul t , iar produsul hdg dintre înălțimea h a coloanei de lichid, densitatea d și accelerația gravitației g înlocuiește presiunea p din formula (2).

Folosind aceeași formulă (3) și pentru lichidul de referință, vom obține:

$$\eta' = \frac{\pi}{8} \left(\frac{hd'gr^4}{lv} t' \right), \quad (3')$$

și, făcînd raportul, între (3) și (3') vom avea

$$\frac{\eta}{\eta'} = \frac{dt}{d't'};$$

cum d' este cunoscut, fiind densitatea 1 a apei distilate, iar η' este viscozitatea apei luată ca unitate, viscozitatea relativă a lichidului examinat este

$$\eta = d \cdot \frac{t}{t'}. \quad (4)$$

În laboratorul de cercetări biologice și medicale, pentru determinarea viscozității relative a diferitelor lichide se întrebuintează viscozimetrul Ostwald, Engler, iar pentru sînge, viscozimetrul Hess.

a) **Viscozimetrul Ostwald** este un aparat de sticlă care are două ramuri, fiecare cu cîte un rezervor; una din ramuri are un tub capilar (fig. 163). Lichidul introdus în rezervorul B se aspiră în A cu ajutorul unei pere de

cauciuc pînă ce trece de tubul capilar, umple rezervorul *A* și trece mai sus de reperul *a* de pe această ramură a aparatului.

Aparatul fiind fixat perfect vertical, se lasă lichidul să curgă liber de la *A* la *B*. Cînd a ajuns la reperul *a*, se începe cronometrarea, iar cînd ajunge la reperul *b*, se oprește cronometrul. Se stabilește astfel timpul *t*, care reprezintă durata curgerii volumului de lichid cuprins între cele două repere *a* și *b*. După curățirea și uscarea viscozimetrului, se repetă operația, însă de data aceasta cu apă distilată; se determină astfel timpul *t'* pentru același volum de apă cuprins între cele două repere. Introducînd aceste valori în formula

$$\eta = d \cdot \frac{t}{t'},$$

se calculează viscozitatea relativă η a lichidului.

Pentru determinări de precizie se ține aparatul într-un termostat care-i menține temperatura constantă și se adaptează un termometru pentru măsurarea temperaturii la care se lucrează.

b) **Viscozimetrul Engler** este folosit la determinarea viscozității uleiurilor comestibile, a substanțelor uleioase, farmaceutice, tehnice, a derivatelor de petrol etc. Cu viscozimetrul Engler se lucrează după același principiu al raportului timpurilor de curgere, pe care l-am descris mai înainte.

Aparatul (fig. 164) se compune din două recipiente concentrice de alamă așezate pe un trepied; în vasul interior se introduce lichidul pînă la un reper. Printr-un tub capilar, care se deschide și se închide cu o vergea ascuțită, poate curge lichidul. Un termometru fixat în capacul recipientului *V* indică temperatura interioară. Recipientul exterior servește drept baie vasului interior pentru a se putea lucra la o anumită temperatură, care se citește la un alt termometru. Baia se utilizează pentru substanțe prea viscoase: uleiuri de uns, ulei de ricin, ulei de parafină, uleiuri grase, glicerină. Lichidul din vasul interior curge prin deschiderea capilară într-un balon cotat de formă specială, de 100 cm³, care are un reper.

Modul de lucru este același ca la viscozimetrul Ostwald. Cînd temperatura lichidului interior este egală cu temperatura băii, se deschide orificiul prin care curge lichidul. Se cronometrează intervalul de timp necesar umplerii balonului pînă la reper. Acesta este timpul *t* din formulă. Se repetă operația cu apă distilată la aceeași temperatură, cronometrîndu-se timpul *t'*. Introducînd în formula (4) aceste valori, precum și densitatea lichidului, se stabilește viscozitatea relativă a lichidului supus determinării.

c) **Viscozimetrul Hess** servește la determinarea viscozității singelui, pentru care viscozimetrul Ostwald nu poate fi utilizat, deoarece necesită

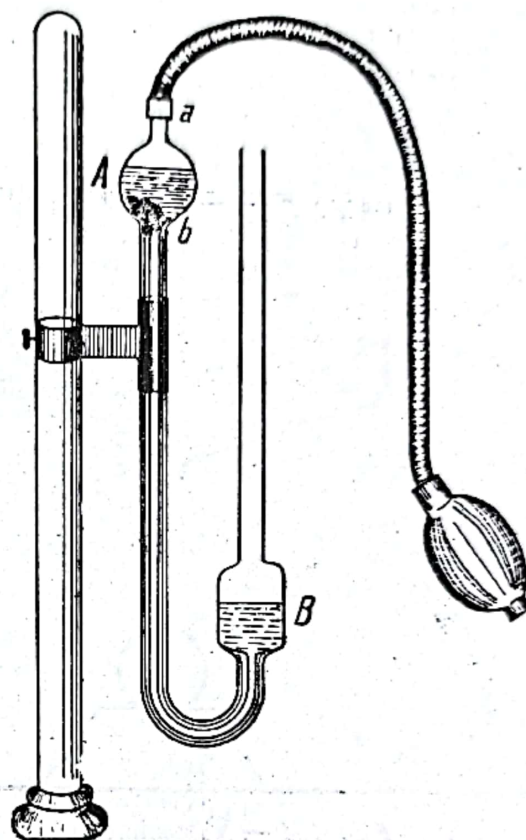


Fig. 163 — Viscozimetrul Ostwald.

o cantitate mare de sînge, iar determinarea durează cîtva timp, în care sîngele se poate coagula în capilar.

Viscozimetrul construit de Hess se compune din două capilare foarte fine, așezate orizontal pe o placă de porțelan și prelungite prin cîte un

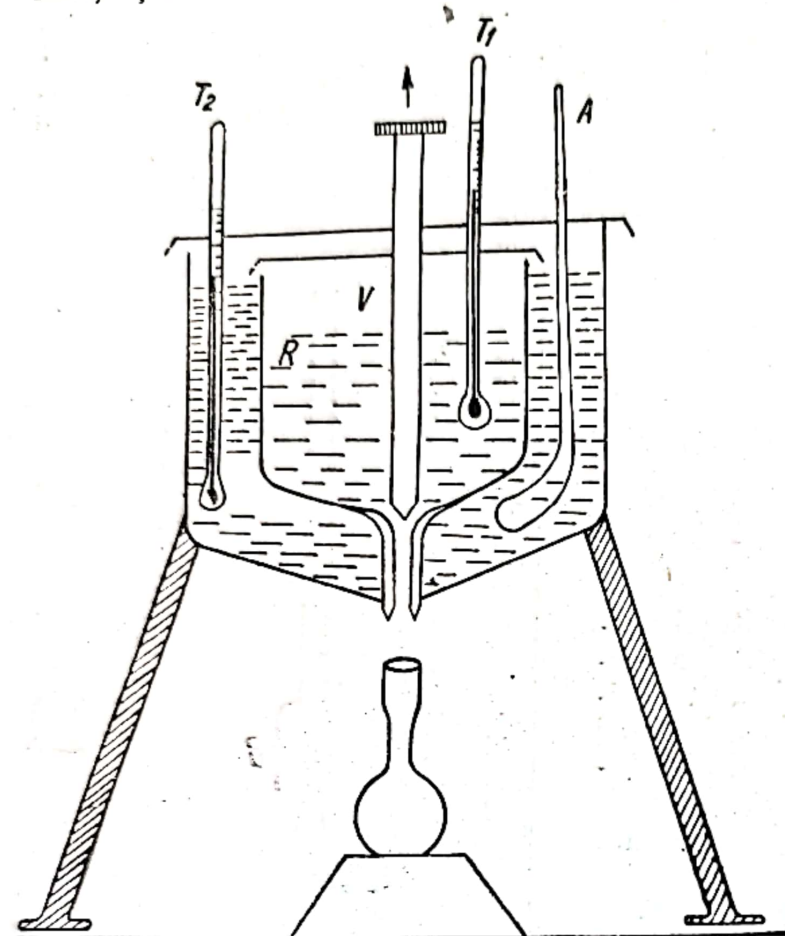


Fig. 164 — Viscozimetrul Engler.

tub cu diametrul mai mare servind ca rezervoare (fig. 165). Deschizînd robinetul *R*, care permite separarea celor două ramuri, se aspiră cu para de cauciuc apă distilată în *A* pînă la reperul *O*, apoi se închide robinetul *R*; după ce s-a făcut o înțepătură în deget, se ia sînge cu o pipetă specială și se aduce la tubul *B* al viscozimetrului. Prin aspirație cu para, se aduce sîngele la reperul *O*. Se deschide apoi robinetul *R* și se aspiră deodată cele două lichide, sîngele și apa, pînă ce sîngele ajunge la reperul *X* de pe ramura *B*. În acel moment se citește diviziunea la care a ajuns apa în ramura *A*. Această cifră arată vîscozitatea sîngelui.

În adevăr, cele două tuburi capilare avînd aceeași rază *r* și aceeași lungime *l*, iar para de cauciuc exercitînd aceeași presiune de curgere asupra ambelor coloane de lichid, urmează (după legea lui Poiseuille) că volumele de lichid scurse din tuburile capilare în același timp sînt invers proporționale cu vîscozitățile

$$\frac{V_s}{V_a} = \frac{\eta_a}{\eta_s}.$$

Secțiunile tuburilor fiind egale, se pot lua, în locul volumelor, lungimile coloanelor de lichid:

$$\frac{l_s}{l_a} = \frac{\eta_a}{\eta_s}.$$

Lungimile coloanelor aspirate sînt invers proporționale cu vîscozitățile lichide.

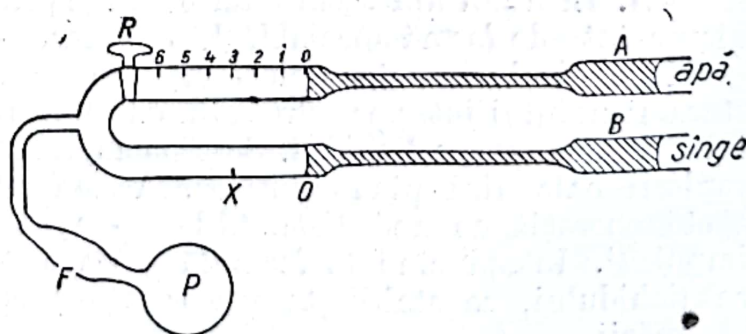


Fig. 165 — Viscozimetrul Hess pentru sînge.

delor aspirate în cele două tuburi, în același interval de timp. Gradarea tubului prin care este aspirată apa, în viscosimetrul Hess, se face după acest principiu.

Faptul că avem meniscuri capilare care, cum am văzut, opun o anumită rezistență deplasării lichidului, introduce în determinări o eroare care poate atinge chiar 1/20 din valoarea găsită.

De aceea este bine să se facă o verificare executând și operația inversă: se refulază cu ajutorul pereii de cauciuc ambele lichide, de la punctele unde au ajuns prin aspirație. Dacă apa ajunge de exemplu la diviziunea 0,2 sau 0,3 în momentul când singele ajunge la punctul zero, facem corectarea scăzând jumătate din această cifră din valoarea viscozității pe care am determinat-o, micșorând astfel eroarea.

Imediat după determinare, se spală aparatul cu apă distilată, apoi cu amoniac, și din nou cu apă distilată, spre a îndepărta urmele de singe, pentru ca aparatul să poată servi la altă determinare.

d) **Viscozitatea citorva lichide.** În tabelul 21 este redată viscozitatea relativă (specifică) a citorva lichide uzuale.

Tabelul 21

Viscozitatea relativă (specifică) a citorva lichide

Lichidul	Temperatura la care s-a făcut determinarea (°C)	Viscozitatea
Alcool etilic	20	1,20
Glicerină	20,9	763,20
Singe uman	37	~ 5,10
Ser uman	40	~ 1,56
Acid sulfuric	20	21,50
Apă	20	1,00

La soluțiile apoase, viscozitatea crește, în general, cu concentrația soluției. Există însă și excepții, cum este de exemplu cazul soluției de alcool în apă, care trece printr-un maximum pentru o concentrație de 40%.

3. VISCOZITATEA LICHIDELOR DIN ORGANISM

În nenumărate cazuri întâlnite în terapeutică și în cercetarea clinică, viscozitatea mediilor lichide din organism are un rol însemnat. Vom descrie pe scurt viscozitatea singelui și a serului sanguin.

a) **Viscozitatea singelui.** Viscozitatea specifică a singelui, la temperatura normală a corpului omenesc (37°), este cuprinsă între 3,8 și 5,5. La copii, viscozitatea singelui este mai mică decât la adulți.

Singele fiind o suspensie, viscozitatea sa este cea a sistemelor heterogene. Se demonstrează că, la o suspensie, viscozitatea sistemului depinde, atât de mediul de dispersie, cât și de particulele aflate în suspensie, fiind în funcție de volumul total al acestor particule. Einstein a dat o formulă care leagă viscozitatea η a unui sistem dispers de viscozitatea η_0 a mediului de dispersie și de volumul Φ al particulelor dispersate:

$$\eta = \eta_0 (1 + 2,5 \Phi).$$

Creșterea viscozității depinde deci de volumul total al particulelor, iar nu de gradul de dispersie, adică de mărimea lor. Formula este vala-

bilă pentru cazul unor sfere elastice, de dimensiuni relativ mici. Potrivit formulei lui Einstein, vîscozitatea singelui variază în raport cu numărul eritrocitelor și al leucocitelor: o creștere sau o scădere a vîscozității singelui se datorește mării sau micșorării numărului, și deci volumului lor.

În policitemii, vîscozitatea singelui crește considerabil, atîngînd chiar 24; ea este de asemenea mărită în poliglobulie, anhidremie, hiperuricemie, în creșterea de CO_2 , hipertensiune. În stările de anemie, vîscozitatea specifică a singelui scade mult, atîngînd uneori valoarea 2; scade de asemenea în hidremie, hiperglicemie, hipouricemie, scădere a cantității de CO_2 . Ingerarea de lichide scăzînd vîscozitatea singelui, determinările clinice de vîscozitate a singelui se fac dimineața, pe nemîncate.

Prezența unei cantități sporite de CO_2 în sînge are ca efect umflarea celulelor sanguine și deci mărirea volumului lor total, ceea ce duce, după formula lui Einstein, la o creștere a vîscozității singelui. De aceea, sîngele venos este mai vîscos decît cel arterial. În caz de asfixie, vîscozitatea singelui este de asemenea crescută.

Consumul de alcool și de cafea, precum și oboseala, măresc vîscozitatea singelui.

După legea lui Poiseuille rezultă că, pentru a trece printr-un tub capilar o anumită cantitate de lichid, trebuie să acționăm cu o presiune cu atît mai mare cu cît vîscozitatea lichidului este mai ridicată. Creșterea vîscozității singelui cere deci un efort mai mare, o contracție mai puternică a inimii, pentru a asigura circulația, ceea ce se traduce printr-o creștere a tensiunii arteriale. Hipertensiunea arterială compensatoare a vîscozității are deci un caracter deosebit de celelalte feluri de hipertensiune; în aceste cazuri, raportul dintre tensiunea maximă și vîscozitatea singelui rămîne cel normal, în jurul cifrei 4.

b) **Vîscozitatea serului** dă indicații utile asupra proporției și calității proteinelor care sînt cuprinse în el. În timp ce, în stare normală, vîscozitatea specifică a serului uman este riguros constantă, fiind cuprinsă între 1,64 și 1,69 la 37° , în stări patologice, vîscozitatea oscilează mult, astfel că se pot întîlni toate valorile dintre 1,5 și 3.

Prezența substanțelor cristaloide în ser (uree, clorură de sodiu) nu modifică sensibil vîscozitatea serului. Creșterea proteinelor mărește vîscozitatea serului; totuși, o vîscozitate anormal de mare a serului nu arată neapărat o cantitate mare de proteine, căci ea poate fi produsă și de volumul particulelor. De aceea, pentru a putea interpreta just măsurătorile de vîscozitate făcute asupra serului, trebuie efectuată în plus o determinare refractometrică sau electroforetică pentru stabilirea concentrației proteinelor.

H. DIFUZIUNEA

Se numește difuziune pătrunderea moleculelor unei substanțe printre moleculele alteia.

Difuziunea este un fenomen care poate avea loc la gaze, lichide și solide.

1. DIFUZIUNEA GAZELOR

O experiență simplă arată că gazele difuzează cu ușurință. Umplînd cu CO_2 un vas aflat cu gura în sus, și așezînd deasupra, cu gura în jos, un vas la fel de mare umplut cu hidrogen, aceste două gaze, care prezintă o

diferență de densitate foarte mare (CO_2 este de 22 de ori mai greu decât hidrogenul), și deci ar trebui să rămână fiecare în vasul său, după cîtva timp, difuzează și se amestecă. CO_2 a trecut în vasul de deasupra și hidrogenul în vasul de dedesubt. Bioxidul de carbon s-a urcat deci în sus împotriva gravitației, și a difuzat în hidrogen, în timp ce acesta, foarte ușor, a trecut în jos și a difuzat în vasul cu CO_2 . Cauza acestei difuziuni, care contrazice aparent legea atracției gravitației, este mișcarea moleculară a celor două gaze aflate în prezență.

a) **Viteza de difuziune.** Difuziunea se face cu o anumită viteză, care variază cu natura gazelor, cu presiunea și cu temperatura lor. Viteza de trecere a gazului printr-un perete poros de argilă, de grafit sau de cretă se face după legea descoperită de Graham, care spune că această viteză este direct proporțională cu diferența de presiune a gazului din cele două părți ale peretelui și cu propria sa viteză de difuziune (coeficientul de difuzibilitate). Graham a determinat următoarele viteze de difuziune printr-o membrană de cauciuc: azot 1; oxigen 2,56; hidrogen 5,5; bioxid de carbon 13,59. De aceea, un balon de cauciuc plin cu hidrogen și aflat în aer își va micșora repede volumul, căci hidrogenul iese mai repede prin peretele balonului decât intră aerul în balon. Dimpotrivă, un balon de săpun, umflat cu aer și așezat într-un cristalizor plin cu CO_2 , își mărește volumul pînă crapă, întrucît CO_2 intră în balon mai repede decât iese aerul.

Dacă o membrană care separă mai multe gaze este îmbibată cu lichid, cum este cazul membranelor din organism, viteza de trecere a gazelor depinde în primul rînd de presiunea parțială a fiecărui gaz, ca și de coeficientul de solubilitate al gazului în lichidul care îmbibă membrana. În adevăr, fiecare gaz se dizolvă proporțional cu presiunea sa și coeficientul său de solubilitate în lichidul care îmbibă fața membranei cu care este mai întîi în contact; el trece apoi prin difuziune, prin lichid, pe fața opusă a membranei, și apoi părăsește lichidul repede dacă vine în contact cu un mediu gazos, în care presiunea gazului de același fel este nulă sau foarte slabă.

b) **Difuziunea gazelor în organism.** Difuziunea gazelor în organism se face cu o viteză proporțională cu coeficientul de solubilitate al gazului în lamela lichidă prin care traversează. În ce privește presiunea, gazele trec prin membranele organice după aceeași lege ca prin membrane oarecare, îmbibate cu lichid, adică în sensul presiunii descrescînde a gazelor de o parte și de alta a membranei, cum am arătat mai înainte. La temperatura corpului omenesc se obțin următoarele valori ale vitezei de difuziune: azotul 1, oxigenul 1,7 și bioxidul de carbon 42. Ca și pentru cauciuc, se constată și aici, la temperatura corpului uman că CO_2 are o viteză de difuziune mai mare.

Considerînd schimburile respiratorii, se observă că presiunea oxigenului descrește astfel: în atmosferă $760/5 = 152$ torri; în alveole 99,8 torri, și apoi scade de la 91 de torri în artere, pînă aproape de zero în țesuturi. După legile fizice, oxigenul va pătrunde din atmosferă în alveole, apoi în singele venos și va difuza spre țesuturi, unde va întreține combustii intratisulare.

În ce privește bioxidul de carbon, presiunea lui parțială se micșorează de la țesuturi, unde este de 53—76 torri, la singele venos, unde este de 41 torri, la aerul alveolar (40 torri), și la aerul atmosferic, unde presiunea lui se apropie de zero; acest gaz va difuza deci cu ușurință de la țesuturi spre atmosferă.

Mișcarea gazelor respiratorii se explică astfel prin difuziunea acestor gaze de la regiunile cu presiunea mai ridicată spre cele cu presiunea mai coborâtă.

Trebuie remarcat că tensiunea bioxidului de carbon din sângele venos este foarte apropiată de presiunea lui în aerul alveolar, în timp ce presiunea oxigenului în aerul alveolar este mult mai mare decât tensiunea lui în sângele venos. Aceasta se datorește faptului că coeficientul de difuziune al CO_2 este mult mai mare decât cel al oxigenului.

c) **Resorbția gazelor.** Gazele injectate în țesutul celular subcutanat sau într-o seroasă ca peritoneul sau pleura sînt resorbite progresiv, în timp ce compoziția lor se modifică. Bioxidul de carbon este resorbit repede; oxigenul, aerul și azotul sînt resorbite mai încet. Oricare ar fi însă gazul injectat, se găsește după cîtva timp un amestec format din azot 87—88%, oxigen 5—7% și CO_2 5—7%. Acest fapt se explică ușor cu ajutorul legilor difuziunii examinate mai înainte, diferența dintre presiunea colecției gazoase (unde presiunea este superioară presiunii atmosferice) și sângele venos și limfa (unde tensiunea gazelor este cu cel puțin 10% mai mică decât presiunea atmosferică) fiind în general destul de importantă.

Legile difuziunii explică existența „vidului pleural”; în realitate, cavitățile pleurale prezintă o depresiune de 8 la 10 cm coloană de apă față de presiunea atmosferică. În această cavitate nu se pot afla deci gaze, decât sub o presiune cel puțin egală cu suma tensiunilor parțiale ale gazelor din mediul înconjurător. De aceea, în pneumotoraxul artificial trebuie să se introducă periodic gaz dacă vrem să evităm ca, în urma difuziunii gazelor, cele două foițe ale pleurei să se lipească din nou una de alta.

2. DIFUZIUNEA LICHIDELOR

Difuziunea lichidelor și a soluțiilor prezintă o serie de aspecte interesante și este bogată în consecințe.

a) **Studiul calitativ al difuziunii lichidelor** se poate face intuitiv demonstrînd difuziunea în modul următor: într-un pahar cilindric cu apă distilată se introduce cu ajutorul unei pipete, pe fundul paharului, o soluție concentrată de sulfat de cupru; soluția se așază pe fundul paharului, deplasînd în sus apa distilată. Lichidul din pahar este alcătuit din două straturi precis separate. Mișcînd paharul, suprafața de separare ondulează ca și cum ar exista o membrană separatoare între cele două lichide. Lăsînd cîtva timp paharul acoperit cu un clopot, pentru a fi ferit de curenți de aer, într-un loc ferit de trepidații, și privindu-l după 6 ore, vom observa că la suprafața de separare dintre soluția de CuSO_4 și apa distilată s-a format o pătură mai puțin colorată; aceasta se urcă încet în sus, așa că, după alte cîteva ore, sulfatul de cupru a ajuns în partea superioară, iar într-o zi sau două avem o soluție uniformă în tot paharul. Experiența se poate face cu orice soluție salină colorată, care să permită observarea urcării treptate a moleculelor mai grele decît cele de apă. În experiența descrisă mai sus, soluția de sulfat de cupru a difuzat în apă.

Fenomenul, observat mai de mult, a fost studiat de Graham. Acesta a observat că corpurile nu difuzează toate cu aceeași viteză. Astfel, soluțiile de acid clorhidric, clorură de sodiu, sulfat de sodiu, sulfat de magneziu, zahăr, difuzează mai repede, în timp ce soluțiile de albumină, gumă, dextrină, gelatină, tanin, amidon, glicogen, celuloză, latexul de cauciuc, difuzează foarte încet.

Graham, a determinat timpul necesar pentru ca fiecare din soluțiile studiate să difuzeze pe o anumită distanță, și a stabilit următorul șir de

viteze de difuziune, luind ca termen de comparație soluția de HCl: acid clorhidric 1,0; NaCl 2,2; MgSO₄ 7; albumină 49; caramel 98 etc.

Observind în același timp că substanțele care difuzează repede sînt susceptibile în cea mai mare parte de a cristaliza cînd sînt separate de solventul lor, le-a numit cristaloizi. Cele care difuzează mai încet, luind adesea aspect de gelatină sau de clei cînd se separă de solventul lor, le-a numit coloizi. Această împărțire a substanțelor în două mari categorii, despre care Graham a afirmat că ar constitui două lumi deosebite ale materiei, nu este justificată, deoarece substanțe cristaloide tipice, cum ar fi clorura de sodiu, dacă sînt dizolvate în benzen sau benzină, trec în stare coloidală, iar proteinele, care sînt substanțe tipic coloidale, pot fi obținute în stare cristalizată.

Viteza de difuziune deosebită își are originea în mărimea moleculei; coloizii, avînd molecula mai mare, difuzează mai încet. În adevăr, dacă energia unei molecule are valoarea $E = \frac{mv^2}{2}$, este evident că, dacă viteza v crește mult, pentru ca energia să rămînă aceeași trebuie ca în același timp celălalt factor al produsului, adică masa m , să scadă. Moleculele de masă mică au o viteză de difuziune mai mare, iar cele de masă mai mare au o viteză mai mică.

b) **Legile difuziunii lichidelor.** Graham a stabilit o serie de legi experimentale care prezintă interes mai mult istoric, și care au fost numite legile difuziunii. Aceste legi se enunță astfel: a) viteza de difuziune variază cu natura substanței care difuzează; b) viteza variază cu starea cristaloidă sau coloidă a substanței; c) cantitatea de substanță care difuzează în unitatea de timp depinde de concentrația soluției examinate; astfel, o soluție de CuSO₄ 10% în apă difuzează de două ori mai repede decît una de 5%; d) cantitatea de substanță care difuzează crește cu temperatura (ridicarea temperaturii mărește energia de mișcare a moleculelor, și deci, cu cît substanța va fi mai încălzită, cu atît moleculele se vor mișca mai repede, așa că în unitatea de timp va difuza o cantitate mai mare de substanțe).

Difuziunea, așa cum am descris-o, se urmărește greu, și studiul ei cantitativ se face cu dificultate. Studiul experimental al difuziunii a fost înlesnit prin introducerea unei membrane, ca la gaze.

I. OSMOZA

Difuziunea lichidelor printr-o membrană se numește osmoză. Osmoza se produce cînd cele două lichide sînt separate de o membrană care poate fi udată de fiecare lichid în parte.

Fenomenul de osmoză a fost observat pentru prima oară în 1748, de Nollet, și a fost studiat mai în amănunțime de Dutrochet, cu ajutorul unui aparat simplu pe care l-a numit *osmometru*.

1. ENDOSMOZA ȘI EXOSMOZA

Osmometrul (fig. 166) este alcătuit dintr-un vas de sticlă al cărui fund îl formează o membrană animală (vezică); aparatul se continuă în partea opusă cu un tub de sticlă. Osmometrul se umple cu apă în care s-a dizolvat, de exemplu, o anumită cantitate de zahăr, și se așază apoi vertical într-un cristalizor cu apă distilată. După cîtva timp, nivelul lichidului se urcă în tubul osmometrului și la un moment dat se oprește. Această

urcare a apei din cristalizor în osmometru se datorește unei forțe, care învinge forța gravitației. Această forță care ridică lichidul în sus se numește *presiune osmotică*.

Fenomenul decurge în două faze. Un curent de lichid din cristalizor pătrunde în osmometru: în acest caz e vorba de endosmoză. După puțin timp, un curent de soluție de zahăr iese din osmometru și intră în cristalizor: *exosmoză*. Se pune astfel în evidență existența celor doi curenți

în lichid. Echilibrul dintre ei și forța osmotică face să se mențină coloana de lichid la o anumită înălțime.

În unele cazuri, cum este cel al soluțiilor de acid tartric și de acid oxalic, de anumită concentrație, în loc de ascensiunea lichidului în tubul osmometric, adică al unei osmoze pozitive, meniscul din tub coboară față de nivelul lichidului din cristalizor.

Graham a constatat de altfel că acizii determină totdeauna o osmoză negativă ori o osmoză pozitivă foarte slabă.

Pentru a putea observa mai bine fenomenul de osmoză, Pfeffer a imaginat o membrană semipermeabilă, adică o membrană care poate fi traversată de apă, dar care reține corpurile dizolvate ale căror particule sînt mai mari decît porii membranei. Membranele animale fiind permeabile, adică lăsînd să treacă soluțiile în ambele sensuri, Pfeffer a construit o membrană minerală folosind un vas de argilă poroasă. Spălat bine cu soluție de hidroxid de sodiu, apoi cu soluție de acid clorhidric, spălat apoi

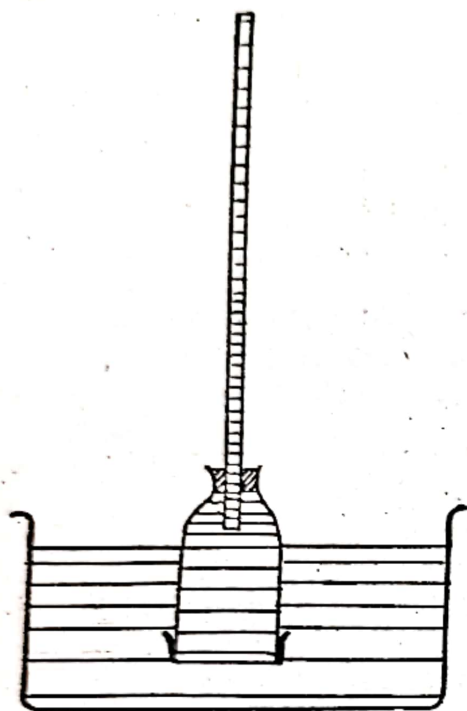


Fig. 166 — Osmometrul lui Dutrochet.

bine cu apă și îmbibat cu apă distilată, vasul nu mai are aer în pori. Se toarnă în acest vas o soluție de sulfat de cupru și se introduce vasul în altul mai mare, cu soluție de ferocianură de potasiu $K_4Fe(CN)_6$. Cele două soluții difuzează în apa din porii peretelui poros și la întîlnirea lor se produce un precipitat gelatinos de ferocianură de cupru $Cu_2Fe(CN)_6$, substanță compactă insolubilă, care constituie o bună membrană semipermeabilă, fiindcă permite numai trecerea apei.

2. PRESIUNEA OSMOTICĂ

Am arătat că presiunea osmotică este forța care determină trecerea lichidului prin membrana osmometrului și ridicarea lui în tubul vertical al aparatului.

Pentru a repeta experiențele lui Pfeffer în scopul determinării legilor presiunii osmotice, se utilizează un osmometru (fig. 167), al cărui vas poros se află în legătură cu un manometru cu aer liber. Introducînd în acest vas o soluție de zahăr, de exemplu de 10%, iar în vasul exterior apă distilată, zahărul nu poate ieși din osmometru, fiindcă acesta are o membrană semipermeabilă, dar apa intră în osmometru și exercită o presiune care se constată prin ridicarea mercurului în tubul manometric. În momentul cînd ascensiunea mercurului s-a oprit, presiunea arătată de tubul manometric este presiunea osmotică a soluției de zahăr.

a) **Legile presiunii osmotice.** Cu ajutorul unui asemenea aparat au putut fi stabilite datele experimentale care au dus la descoperirea și formularea legilor presiunii osmotice.

Legile presiunii osmotice au o mare asemănare cu legile gazelor. Gay-Lussac (1778 — 1850) a asemănat încă la începutul secolului trecut difuziunea unei substanțe dizolvate într-un lichid cu expansibilitatea unui gaz într-un anumit spațiu. Van t'Hoff a propus asimilarea presiunii osmotice cu presiunea gazelor, moleculele dizolvate într-un lichid comportându-se ca moleculele gazoase aflate într-un vas.

Legile presiunii osmotice pot fi enunțate și explicate sistematic în modul următor.

1. La temperatură constantă, presiunea osmotică a unei soluții este proporțională cu concentrația soluției. Experiența a arătat că, pentru soluții destul de diluate, presiunea osmotică este direct proporțională, la temperatură constantă, cu concentrația moleculară

$$P = k C_{mol}$$

În tabelul 22 sînt date presiunile osmotice P în at ale unor soluții de zahăr de diferite concentrații moleculare C_{mol} (în moli/litru) la 0° , precum și raportul P/C_{mol} ; acesta rezultă constant și apropiat de 22,42 în limitele erorilor experimentale.

Concentrația soluției fiind în raport invers cu volumul ei, urmează că presiunile osmotice sînt invers proporționale cu volumele de soluție. Se recunoaște aici analogia dintre această lege și legea Boyle-Mariotte privitoare la gaze.

2. La concentrație constantă, presiunea osmotică crește cu binomul $1 + \alpha t$; se constată aici analogia cu creșterea presiunii gazelor $P = P_0 (1 + \alpha t)$, temperatura, după legea lui Gay-Lussac pentru cazul volumului constant.

Prin compararea presiunii osmotice a unei soluții la diferite temperaturi (în grade Kelvin), se deduce că presiunea osmotică variază direct pro-

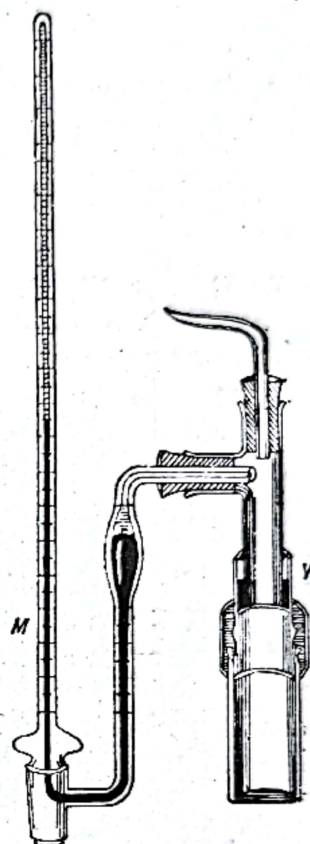


Fig. 167 — Osmometru
lui Pfeffer.

V — vasul de argilă;
M — manometrul.

Tabelul 22

Presiunea osmotică a unor soluții de zahăr

C_{mol}	P	P/C_{mol}	C_{mol}	P	P/C_{mol}
0,029	0,648	22,3	0,300	7,090	23,6
0,060	1,340	22,3	0,500	11,900	23,8
0,119	2,750	23,1	0,600	14,400	24,0
0,180	4,040	22,4	1,000	24,800	24,8

portional cu temperatura absolută. Tabelul 23 arată că raportul dintre presiunea osmotică și temperatură, pentru o soluție conținând 1,05 moli zahăr la litru, păstrează o valoare constantă, adică

$$P = k' C_{mol} T$$

3. Presiunea osmotică a unei soluții, în care faza dispersată este alcătuită din substanțe diferite, este egală cu suma presiunilor osmotice ale fiecărei soluții în parte, iar fiecare substanță dizolvată își are presiunea ei proprie, ca și cum s-ar afla dizolvată singură în întreaga cantitate de solvent. Această lege este analogă cu legea lui Dalton privitoare la presiunea unui gaz într-un amestec de gaze și la presiunea totală a amestecului, care este egală cu suma presiunilor parțiale ale gazelor componente:

$$P = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots$$

4. Presiunea osmotică a unei soluții este independentă de natura substanței dizolvate; ea depinde numai de numărul moleculelor din soluție.

Tabelul 23

T (°K)	P (at)	P/T
273	24,8	0,091
283	25,7	0,091
293	26,6	0,091
298	27,0	0,091

Soluțiile moleculare ale diferitelor substanțe au aceeași presiune osmotică, dacă nu intervin și alte fenomene. Legea este analogă cu legea lui Avogadro pentru gaze, care arată că același număr de molecule ocupă același volum și exercită aceeași presiune. La soluții, presiunea osmotică moleculară este de $\sim 22,4$ at. În adevăr, dacă avem o soluție moleculară, de zahăr (340 g zahăr dizolvat în apă, astfel încât să avem un litru de soluție), ea

are o presiune osmotică de 22,4 at. Dacă în locul zahărului avem o soluție moleculară de glucoză, de acid tartric etc., presiunea osmotică a acestor soluții moleculare este aceeași, adică 22,4 at. Dacă în loc de apă folosim un alt solvent, se observă că presiunea osmotică este aceeași. Toate aceste experiențe ale lui Pfeffer și ale altor cercetători au dus la formularea legii care spune că presiunea osmotică este proporțională cu numărul de molecule cuprinse într-un volum de lichid dat, fiecare moleculă, oricare ar fi ea, exercitând aceeași presiune osmotică.

Ipoteza de similitudine a lui van t'Hoff privind legile presiunii osmotice și legile gazelor corespunde în foarte multe privințe realității.

Astfel, dacă presiunea osmotică a unui corp dizolvat este egală cu presiunea pe care ar exercita-o acel corp, sub formă de gaz, într-un volum egal, putem calcula presiunea osmotică cu ajutorul expresiei Mendeleev-Clapeyron, adică putem aplica soluțiilor legea gazelor perfecte, exprimată în forma următoare:

$$pV = nRT, \quad (1)$$

în care n este numărul de moli.

Astfel, dacă vom considera un volum V în care se află n molecule-gram de gaz la temperatura absolută T , presiunea exercitată de acest gaz este

$$p = \frac{nRT}{V} \quad (2)$$

Raportul n/V reprezentând concentrația moleculară C_{mol} a soluției, formula (2) se mai poate scrie

$$P = RT \cdot C_{mol} \quad (3)$$

Pentru o soluție diluată, în care concentrația moleculară este egală cu unitatea, adică unde avem o singură moleculă-gram dizolvată într-un litru de lichid, vom avea

$$P = RT.$$

La temperatura de 0° , adică de $273,12^{\circ}\text{K}$, avem:

$$P = 0,0821 \times 273,12 = 22,42 \text{ at},$$

adică o moleculă-gram dizolvată într-un litru de soluție dezvoltă la 0° o presiune osmotică de 22,42 at, deci exact ca o moleculă-gram de gaz într-un volum de un litru, la aceeași temperatură.

b) **Determinarea presiunii osmotice** a unei substanțe se poate face în baza legilor examinate mai înainte, și anume folosind formula următoare:

$$P_{\text{osm}} = 22,42 \times C_{\text{mol}},$$

adică multiplicând presiunea de 22,42 at, pe care o exercită orice moleculă-gram, cu concentrația moleculară a soluției respective.

Pentru calcularea presiunii osmotice, trebuie deci cunoscută concentrația moleculară, care trebuie introdusă în formula de mai sus. Concentrația moleculară a diferitelor soluții de laborator se determină prin numeroase metode. În biologie și medicină este folosită metoda coborîrii punctului de înghețare al unei soluții, metodă numită *crioscopie*.

c) **Crioscopia.** Se știe că apa distilată, la presiunea de 760 mm Hg, îngheață la temperatura de 0° și fierbe la 100° . Orice substanță adăugată apei îi coboară punctul de congelare și-i ridică punctul de fierbere.

Raoult a descoperit legea coborîrii punctului de înghețare; legea cunoscută sub numele de legea lui Raoult arată că această coborîre Δ a punctului de înghețare este proporțională cu concentrația moleculară a substanței dizolvate; deci, nu se obține aceeași coborîre a punctului de congelare cu soluții de substanțe diferite, toate având concentrația, de exemplu, de 10%, ci numai dacă ele au concentrația corespunzând cu greutatea lor moleculară.

Experiența arată că toate soluțiile moleculare coboară punctul de congelare al apei cu $1,85^{\circ}$ pentru fiecare moleculă-gram de substanță dizolvată. Se poate deci scrie

$$\Delta = k \cdot C_m,$$

unde k este un coeficient care depinde de natura [și cantitatea solventului, dar este independent de natura corpului dizolvat. Dacă considerăm soluțiile moleculare, unde deci $C_m = 1$, avem $\Delta = k$, adică o moleculă-gram, din orice corp, introdusă în aceeași cantitate de solvent, produce o aceeași coborîre a punctului de solidificare. Astfel, soluțiile normale în apă, oricare ar fi corpul dizolvat, îngheață, nu la 0° , ci la o temperatură mai scăzută, și anume la $-1,85^{\circ}$.

Cunoscând constanta k a solventului și determinînd coborîrea crioscopică Δ , legea lui Raoult permite calcularea concentrației moleculare a soluției respective. Studiul concentrațiilor se reduce deci la studiul crioscopic al soluției, adică la determinarea coborîrii Δ a punctului de înghețare a soluției față de punctul de înghețare al apei pure.

Determinarea lui Δ se face cu ajutorul unui aparat numit crioscop. În laborator sînt folosite: crioscopul cu gheață și crioscopul cu evaporare.

Crioscopul Beckmann este un aparat la care se folosește pentru coborîrea temperaturii un amestec răcitor. Aparatul Beckmann (fig. 168) se

compune dintr-un recipient exterior din lemn umplut cu rumeguș de lemn, pentru a evita schimbul de căldură cu mediul ambiant. În acest vas de lemn este introdus un cristalizor de sticlă care conține un amestec refrigerent; acesta dă o temperatură cu cel puțin 1° sub punctul de congelare al soluției considerate. În mijlocul acestui vas cu amestec răcitor se află un tub de sticlă conținut într-un alt tub de alamă, între care se află un

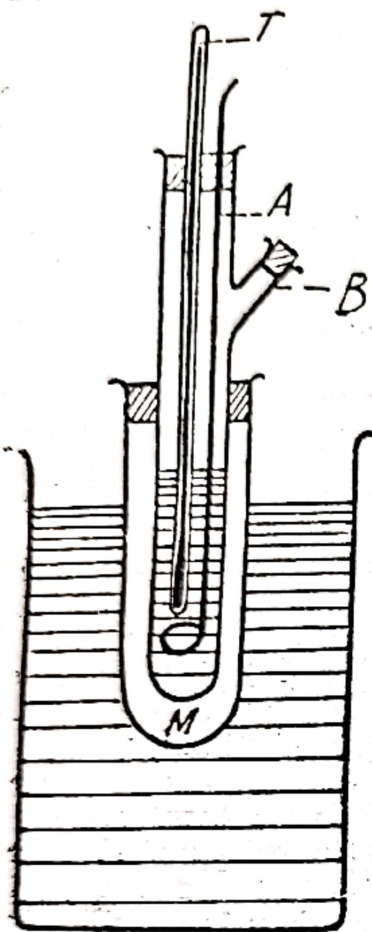


Fig. 168 — Crioscopul Beckmann.

mic spațiu liber. Tubul central se închide cu un dop de plută prin care străbate un termometru Beckmann. Cu ajutorul acestui termometru cu scară fracționară se pot determina, după cum am arătat, diferențe de temperatură de $1/100^{\circ}$ și chiar mai mici.

Pentru a face determinarea crioscopică se toarnă 25 ml din soluția de examinat, în tubul de sticlă; acesta se închide cu dopul de plută prin care trece termometrul. Lichidul se agită mereu cu ajutorul termometrului. Se constată o coborire progresivă a temperaturii. Când temperatura a coborât cu o jumătate de grad sub temperatura de congelare aproximativă a soluției, determinată sumar anterior, se oprește suprafuziunea care poate interveni, introducând un fragment de gheață în lichidul răcit. Supratopirea încetează și soluția îngheață; temperatura se urcă pînă la cea de înghețare a soluției, rămîne constantă cităva vreme, apoi continuă să coboare. Se notează temperatura la care termometrul a fost staționar, și astfel se obține valoarea lui Δ . Se repetă determinările, pentru a se evita erorile posibile.

Amestecurile frigorifere folosite în crioscopul cu gheață sînt alcătuite din fragmente de gheață de 2—3 cm diametru, amestecate cu următoarele cantități de clorură de sodiu; cu 3% se poate obține o coborire crioscopică

de $1,3^{\circ}$, cu 5% de $2,20$, cu 8% de $3,80$ și cu 10% o coborire de $4,80^{\circ}$.

Crioscopul cu evaporare are aceeași construcție ca și crioscopul Beckmann, numai că, în loc să se obțină răcirea cu ajutorul amestecului frigorifer, se obține această coborire de temperatură prin evaporarea unui lichid volatil.

Modelul medical este alcătuit dintr-un vas de sticlă (fig. 169), în care este introdusă eprubeta cu soluția de determinat. În acest vas se află termometrul Beckmann și un dispozitiv care permite amestecarea permanentă a substanței, pentru uniformizarea temperaturii. Un vas de sticlă V conține un lichid volatil (eter sau sulfură de carbon) în care se află o serpentină perforată; prin această serpentină se introduce aer, fie pompîndu-l din afară, fie aspirînd prin O cu ajutorul unei trompe, gazul de deasupra lichidului și introducînd astfel aer de afară prin diferența de presiune produsă. Trecerea aerului prin eter provoacă formarea a foarte numeroase bule gazoase în masa lichidului volatil, și deci o evaporare considerabilă. Evaporarea neputîndu-se face cu ajutorul căldurii din mediul înconjurător, are loc pe socoteala căldurii lichidului, care se răcește foarte mult, răcind

astfel și eprubeta cu substanță a cărei coborîre crioscopică Δ o determinăm. Mai departe se procedează ca în cazul crioscopului cu gheață.

d) **Rezultate obținute prin crioscopie.** În cele ce urmează sînt redată cîteva din cele mai importante rezultate obținute în determinările de crioscopie clinică.

Serul sanguin. Serul uman normal îngheață totdeauna în jurul temperaturii de $-0,56^\circ$. Concentrația moleculară a serului avînd valoarea dată de expresia

$$C_m = \frac{\Delta}{k},$$

unde $k = 1,87$, vom avea

$$C_m = \frac{0,56}{1,87} = 0,3.$$

Introducînd această valoare a concentrației moleculare în relația care dă presiunea osmotică, obținem pentru ser presiunea osmotică.

$$P = 22,42 \times 0,3 = 6,72 \text{ atm.}$$

Constanța punctului de congelare a serului este remarcabilă, și este aproape imposibil a-l face să varieze, chiar prin ingerarea unei cantități importante de NaCl, deși urina are temperatura de congelare variabilă la diferiți oameni.

Rezultatele experimentărilor arată că serul sanguin se comportă ca o soluție apoasă de concentrație moleculară 0,30. O soluție de NaCl în apă, cu concentrația de 9‰, produce aceeași coborîre crioscopică de 0,56 și are aceeași presiune osmotică ca și serul sanguin. De aceea, soluția de NaCl 9‰ în apă se mai numește curent, dar impropriu, „ser fiziologic“.

De altfel, presiunea osmotică a singelui este dată în cea mai mare parte de electrolite, adică de sărurile de sodiu, potasiu, calciu și magneziu din singe, și îndeosebi de NaCl.

Cantitatea de glucide și produse intermediare de metabolism este mică, iar proteinele, deși în cantitate mare în plasma sanguină, au o concentrație moleculară mică, fiindcă greutatea lor moleculară este mare, așa că presiunea lor osmotică este foarte mică. Anumite stări patologice fac să varieze punctul de congelare a serului; astfel, dacă rinichii nu funcționează normal, numărul moleculelor de urină excretate se micșorează și, în consecință, concentrația serului se mărește, așa că punctul de congelare coboară.

Urina are punctul de congelare în mod normal $-1,5^\circ$; în general, urina îngheață la o temperatură care variază între $-0,1$ și $-3,5^\circ$. Această

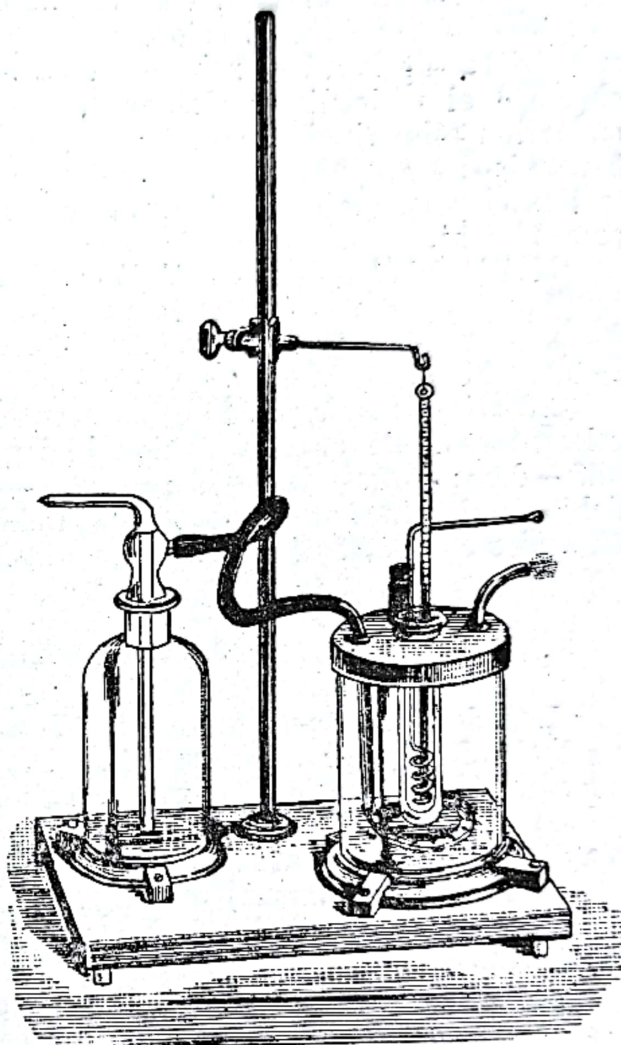


Fig. 169 — Crioscop cu evaporare.

amplitudine osmotică este mult micșorată, în anumite cazuri de nefrite, când Δ urinar rămâne aproape invariabil cu tot excesul de apă ingerat; fenomenul se manifestă prin retenție de apă și prin edeme.

Raportul dintre valoarea lui Δ pentru urină și pentru sînge este cuprins între 2, 3 și 4 pentru același subiect; acest raport arată puterea de filtrare a rinichilor pentru substanțele dizolvate. Multiplicînd acest raport cu volumul de urină în ml emis în 24 de ore, se obține permeabilitatea renală medie pentru intervalul de 24 de ore considerat.

Scăzînd din punctul crioscopic al urinii totale pe Δ care corespunde moleculelor de NaCl și zahărului, calculate după rezultatele analizei, se obține δ al moleculelor elaborate, adică al produselor de dezasimilare a materiilor albuminoide. Greutatea moleculară medie a acestor materii elaborate indică gradul de perfecțiune cu care se produce fragmentarea macromoleculelor albuminoide în molecule mai mici (uree etc.), eliminabile prin rinichi.

Multiplicînd pe δ (în sutimi de grad Celsius) cu volumul (în ml) de urină emisă în 24 de ore și împărțind prin greutatea subiectului (în kg) se definește diureza moleculară elaborată, care în stare normală oscilează între 2 000 și 2 500, iar în uremie poate coborî la 1 000 și chiar la 500 ml.

Alte lichide biologice. În cele ce urmează sînt redate ($^{\circ}\text{C}$) punctele de congelare medii ale cîtorva lichide biologice: limfă $-0,62$; lapte $-0,55$; bilă $-0,65$; suc gastric $-0,45$; sudoare $-0,20$; lacrimi $-0,80$; salivă $-0,45$; lichid cefalorahidian $-0,65$. Limfa, lichidul cefalorahidian, bila, lacrimile, au deci o concentrație moleculară mai mare decît cea a serului sanguin.

3. SOLUȚII IZOTONICE

Introducînd într-un osmometru Pfeffer, cu membrană semipermeabilă, o soluție, de exemplu, de uree și în cristalizorul în care se așază aparatul introducînd o soluție de zahăr, se pot prezenta trei cazuri.

a) Soluția din osmometru are concentrația moleculară mai mare decît cea din cristalizor, și atunci apa din soluția de zahăr din cristalizor pătrunde în osmometru (endosmoză) și diluează soluția de uree pînă ce ambele capătă aceeași concentrație moleculară. În acest caz, soluția de uree a fost *hipertonice* față de cea de zahăr.

b) Dacă soluția de zahăr din cristalizor are concentrația moleculară mai mare decît cea de uree, apa din soluția de uree iese din osmometru (exosmoză) în cristalizor și diluează soluția de zahăr; în acest caz, soluția de uree a fost *hipotonice* față de cea de zahăr.

c) Se poate ca cele două soluții să fie luate în aceeași concentrație moleculară; în acest caz, nu are loc nici o trecere de lichid dintr-o parte a membranei în partea cealaltă; soluțiile se numesc *izotonice*. Soluțiile izotonice se mai numesc și *izoosmotice*; ele sînt soluții echimoleculare.

La electroliți, soluțiile echimoleculare nu sînt și izoosmotice. În cazul acestor soluții trebuie să se țină seamă că are loc fenomenul de disociație electrolitică; la NaCl, un număr de molecule se disociază în ioni Na^+ și ioni Cl^- , așa că fiecare din moleculele disociate acționează ca două particule separate.

De altfel, în dezvoltarea cercetărilor în acest domeniu, faptul că s-a observat că soluțiile echimoleculare ale electroliților nu erau și izoosmotice a condus la descoperirea disociației electrolitice. Numai după descoperirea și studiul amănunțit al acestui fenomen s-a văzut că trebuie să se înlocu-

- iască în osmoză electrolitilor numărul de molecule cu numărul de molecule nedisociate plus numărul de ioni ai moleculelor disociate; soluțiile electrolite, pentru a fi izoosmotice cu cele neelectrolite, trebuie deci să cuprindă drept număr de molecule, numărul total de particule: molecule nedisociate, anioni și cationi.

4. IZOTONIA ÎN BIOLOGIE

Faptul că soluțiile izotonice sînt soluții echimoleculare reiese și din formula presiunii osmotice $P = RTC_{mol}$. Din această expresie se deduce că la aceeași temperatură absolută T avem aceeași concentrație moleculară C_{mol} pentru aceeași presiune osmotică; cu alte cuvinte, soluții diferite, dar de aceeași presiune osmotică, au aceeași concentrație moleculară.

Această consecință a legii gazelor, aplicată la presiunea osmotică, a fost verificată în biologie pe diferite căi; vom descrie următoarele două metode: una pentru celulele vegetale (de Vries) și alta pentru eritrocite (Hamburger).

a) La celulele vegetale verificarea s-a făcut astfel: observînd la microscop o secțiune subțire dintr-un țesut vegetal, se vede celula cu învelișul ei extern, care este membrana celulară, cu membrana plasmatică externă și cu membrana plasmatică internă, care limitează exterior și interior protoplasma. Aceste două membrane sînt semipermeabile, ca și membrana minerală de ferocianură de cupru din osmometrul lui Pfeffer. Dacă se introduce secțiunea într-o soluție salină foarte diluată sau în apă distilată, apa pătrunde în interiorul membranelor plasmactice, iar sacul protoplasmatic se umflă puțin cîte puțin, pînă ce se lipește cu totul de membrana celulară. Umflarea protoplasmei prin apa intrată în celulă se numește *turgescență*.

Dimpotrivă, dacă preparatul microscopic este ținut într-un mediu de concentrație mare, apa iese din celulă prin membranele plasmactice; sacul protoplasmatic se separă mai întîi de membrana celulară și se micșorează puțin cîte puțin în volum, pînă se izolează complet de membrană. Fenomenul se numește *plasmoliză* (fig. 170).

În ambele cazuri descrise, schimbările care se produc sînt datorite inegalității de concentrație moleculară și deci presiunii osmotice inegale de o parte și de alta a membranei plasmactice. Mărinđ însă progresiv concentrația soluției, care fusese foarte diluată, se poate prinde momentul precis cînd sacul protoplasmatic începe să se dezlipească de membrana celulară. În acel moment începe plasmoliza; deci, celula vegetală este izotonică cu lichidul din jur, adică acest lichid a atins aceeași concentrație moleculară și deci aceeași presiune osmotică ca și celula.

Determinarea se face cu ușurință la microscop cu secțiuni anumite și cu soluții de concentrație progresivă, bine cunoscute.

Metoda a servit pentru a determina o serie de soluții izotonice cu lichidul celular, adică o serie de soluții care nu produc osmoză în contact cu celula vegetală. Lucrînd cu diferite substanțe dizolvate în diferite proporții, se pot găsi astfel, lucrînd la microscop, soluții izotonice cu conținutul celular

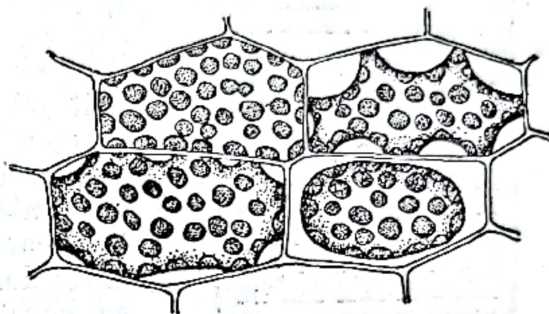
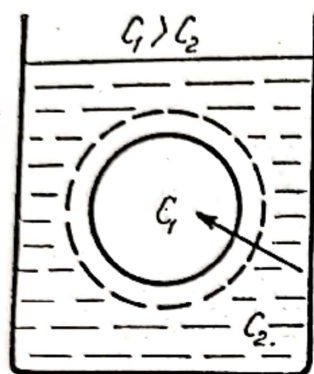


Fig. 170 — Celule ale unei frunze de mușchi, introduse într-o soluție hipertonică (10%) de KNO_3 . Se văd stadiile progresive de plasmoliză.

și deci izotonice și între ele. Pe această cale s-a verificat că soluțiile izotonice între ele au aceeași concentrație moleculară, adică sînt echimoleculare. Lucrînd cu soluții de glucoză ($m = 180$), s-a observat că celula nu-și schimbă aspectul la examenul microscopic numai în soluțiile care cuprind 18 g glucoză la litru. Deci, numai această soluție este izotonică cu conținutul celular. Lucrînd cu soluția de zaharoză ($m = 342$) s-a observat că volumul celular rămîne neschimbat numai în soluțiile cu 34,2 g zaharoză la litru. Deci, ambele substanțe au aceeași concentrație moleculară, adică 1/10 din greutatea lor moleculară în grame aflată într-un litru de soluție.

b) Izotonia a fost verificată la eritrocite. Hamburger a întrebuițat



[schemă]
hemoliză
[sînge]

Fig. 171 — Schema hemolizei
într-o soluție hipotonică
 $C_1 > C_2$.

eritrocite pentru a cerceta izotonia, soluțiile izotonice cu serul și deci izotonice între ele. El a arătat că eritrocitele au o membrană (semi-permeabilă) prin care pot trece apa și unele substanțe cristaloid: zahăr, uree, dar nu sărurile. Eritrocitele se comportă deci ca adevărate microsmometre. Preparînd o serie de soluții apoase ale unui cristaloid neelectrolit, cu concentrații moleculare din ce în ce mai mari, și introducînd în fiecare din aceste soluții cîteva picături de sînge defibrinat și centrifugînd după cîtva timp, se constată că în unele soluții eritrocitele se regăsesc în sediment, pe cînd altele capătă o culoare roșie foarte slabă, din cauza hemoglobinei ieșită din eritrocite.

Experiența arată că dacă soluția în care am introdus sîngele este mai diluată, apa pătrunde în eritrocit, și are loc fenomenul de turgescență (de umflare) întocmai ca și la celulele

vegetale; la eritrocite, membrana nefiind însă atît de rezistentă ca la celula vegetală, se rupe din cauza presiunii osmotice prea mari, provocată de umplerea eritrocitului cu apa intrată prin endosmoză. Soluțiile hipotonice față de eritrocit au deci proprietatea de a face ca eritrocitele să se distrugă și hemoglobina să iasă din eritrocit, răspîndindu-se în lichidul hipotonic. Fenomenul care urmează turgescenței eritrocitelor, adică distrugerea acestora prin presiunea osmotică mare, se numește *hemoliză* și este folosită în cercetările și analizele biochimice. Schematic, hemoliza este redată în figura 171.

Dimpotrivă, dacă soluția în care se introduc eritrocitele este hipertonică, apa iese din eritrocite și trece în soluția din jur; în acest caz, eritrocitele se zbîrcesc și sînt regăsite pe fundul eprubetelor, avînd un volum redus. S-a produs aici, ca și în cazul celulelor vegetale, un fenomen de plasmoliză, în care însă și membrana urmează conținutul celular; fenomenul ia numele de *ratatinare* (zbîrcire). În soluțiile izotonice, eritrocitele nu-și schimbă forma și compoziția.

Întrebuițînd în injecții intravenoase soluții hipotonice, eritrocitele ar deveni turgescente și hemoglobina ar putea trece în ser prin fenomenul de hemoliză sau lacaj, datorită distrugerii eritrocitelor. Utilizînd o soluție prea concentrată (hipertonică) pentru injecții intravenoase, ar avea loc fenomenul de plasmoliză, adică eritrocitele ar pierde apa din protoplasma lor.

Cînd trebuie să introducem cantități mai mari de lichid în sînge, fie în scop curativ, fie în cazul conservării sîngelui, se folosesc numai soluții

izotonice. Soluția de NaCl 9‰, impropriu denumită „ser fiziologic“, cum am mai arătat, este izotonică cu singele.

Soluțiile medicamentoase injectate trebuie să fie totdeauna izotonice cu serul sanguin. Soluția izotonică de glucoză are 47‰.

5. OSMOZA ÎN BIOLOGIE

Membranele din organisme nu sînt riguros semipermeabile: celulele renale, impermeabile pentru glucoză și albumină, sînt permeabile pentru săruri.

Elementele celulare vii sînt totdeauna permeabile pentru apă și în grad diferit pentru diferitele substanțe dizolvate în ea.

În corpul viețuitoarelor se află soluții de diferite concentrații. Membranele mai mult sau mai puțin permeabile prin care sînt separate soluțiile suportă pe ambele fețe cîte o presiune osmotică, datorită moleculelor dizolvate. Cînd numărul de molecule dizolvate crește într-o parte a membranei și deci presiunea osmotică acționează mai intens în acea parte, se produce un dezechilibru osmotic. Astfel, peștii de mare, introduși brusc în apă dulce, suferă un dezechilibru osmotic, uneori letal, la nivelul epiteliului branhial, unde există un sistem permeabil, care separă mediul intern de cel extern. De asemenea, dacă se scoate unui animal o cantitate de singe și se introduce în loc, fie apă distilată, fie o soluție hipertonică, dezechilibrul osmotic, al cărui mecanism l-am descris mai înainte, produce tulburări grave.

La animalele marine nevertebrate, echilibrul osmotic al organismului variază după condițiile exterioare. Organismele inferioare urmează aproape în întregime variația de presiune osmotică a mediului extern, prin concentrare sau diluare, adică are loc o adaptare osmotică. Astfel, la nevertebratele marine menționate, punctul crioscopic al plasmei este identic cu cel al apei de mare. Pe măsura urcării pe scara animală, organismul capătă o independență osmotică. Mediul său intern se caracterizează printr-o presiune osmotică proprie, care — la vertebratele superioare și mai ales la păsări și mamifere — se menține constantă cu ajutorul unui sistem fiziologic de reglare. Astfel, prin rinichi, organismul înlătură surplusul de săruri sau excesul de apă, iar prin plămîni se elimină constituenții volatili. Pielea are de asemenea un rol important în reglarea compoziției singelui în ce privește cuprinsul de apă și săruri, și deci, în reglarea presiunii osmotice.

Rolul principal în menținerea constantă a presiunii osmotice sanguine îl are rinichiul, singura glandă cu secreție hipertonică. Dacă se extirpă rinichiul la un animal, coborîrea punctului crioscopic al singelui crește peste 0,56 și atinge în cîteva ore 0,70. Concentrația ureei crește în singe și apar simptome de hidremie (aflux de apă în sistemul circulator).

Osmoza mai intervine în creșterea țesuturilor. Fenomenul de turgescență, datorit afluxului osmotic din exterior, face ca țesuturile să se dilate. Dacă rupem o floare și o ținem în apă, ea se deschide, căci, conținutul celular fiind hipertonic, apa intră în celule, care devin turgescente și astfel petalele se îndepărtează. Dimpotrivă, dacă introducem o floare într-o soluție de sare, floarea se veștejește, căci din celule apa trece în soluția din vas prin curentul exosmotic.

În timpul creșterii, turgescența se manifestă mai intens cu deosebire în regiunile de proliferare celulară. Ea dilată țesuturile unde urmează să se producă proliferarea.

K. DISPERSII

Dispersiile sînt sisteme moleculare eterogene, alcătuite din cel puțin două faze: una din ele, numită *faza dispersă* sau *dispersată* (sau *dispersoidul*), este faza activă, care se răspîndește, iar cealaltă este faza pasivă, care constituie *mediul de dispersie*.

Dacă faza dispersă este formată din particule de același ordin de mărime, sistemul este *monodispers*: în această categorie se află o suspensie, de exemplu de gumă mastix în apă. Dacă faza dispersă este alcătuită din particule de diferite mărimi, sistemul se numește *polidispers*: acesta este, de exemplu, cazul laptelui, care are și particule dizolvate, deci de dimensiuni foarte mici (moleculele de lactoză, sărurile minerale), particule de suspensii solide (albumina), și suspensii lichide, adică de emulsii (picăturile de unt emulsionate în lapte), care sînt de dimensiuni mai mari.

Criteriile de clasificare a dispersiilor au fost diferite în diversele epoci în care s-a studiat dispersia. Clasificarea rațională este cea care ține seama de mărimea particulei dispersate. Această clasificare este motivată de faptul că sistemele disperse, care sînt sisteme eterogene, au o suprafață mare de separație între faza dispersată și mediul de dispersie, iar la nivelul acestei suprafețe se manifestă energia superficială. Valoarea energiei superficiale este în funcție de forța superficială și de mărimea suprafeței unde ea se exercită.

În această clasificare se definește o noțiune nouă, *gradul de dispersie*. Se numește grad de dispersie, după Wolfgang Ostwald, raportul dintre suprafața totală S a particulelor dispersate într-un anumit mediu de dispersie și volumul V pe care-l au aceste particule dispersate. Cu cît substanța va fi mai mărunțită, mai fin divizată, cu atît gradul de dispersie va fi mai mare, fiindcă suprafața totală a particulelor va fi mai mare, pe cînd volumul substanței este mereu același.

$$S_{sp} = \frac{S}{V}$$

Gradul de dispersie este numit în acest caz și suprafața specifică, dacă arată mărimea suprafeței substanței corespunzătoare la 1 cm^3 de substanță.

După A. V. Dumanski, este mai just să se considere ca grad de dispersie o mărime Δ inversă mărimei a a particulei dispersate:

$$\Delta = \frac{1}{a}.$$

În acest caz, gradul de dispersie al sistemului este o mărime inversă mărimei particulei măsurată în centimetri; la particulele sferice, această mărime coincide cu diametrul sferei, iar în cazul particulelor, care au o formă oarecare, mărimea depinde de direcția după care se măsoară. Particulele dispersate, fiind foarte mici, pot fi considerate ca niște sfere, al căror diametru se numește, în acest caz, diametru echivalent.

În cazul particulelor de aceeași formă și de formă cît mai simplă, mărimea particulei este deci invers proporțională cu gradul de dispersie.

$$a = \frac{1}{\Delta}.$$

Noțiunea de grad de dispersie ne dă astfel posibilitatea de a clasifica o serie de sisteme în ordinea crescîndă a mărimei particulelor sau (ceea

ce este același lucru) în ordinea descrescândă a gradului lor de dispersie. Clasificarea sistemelor după gradul de dispersie oferă o serie de avantaje, printre care în primul rând obiectivitatea clasificării, caracterul ei rațional și mai ales faptul că însușirile diferitelor sisteme disperse sînt funcții de gradul lor de dispersie.

Considerate după acest criteriu, dispersiile sînt de trei mari categorii:

a) **Suspensiile** sînt dispersii cu gradul de dispersie Δ cuprins între 10^5 și 10^3 ; particulele lor au dimensiunile a între 10^{-5} și 10^{-3} cm. Particulele în suspensie sînt mai mari de 100 m μ .

Adoptarea noțiunii de grad de dispersie a permis studiul și coordonarea sistematică a unui număr foarte mare de sisteme, care păreau mai înainte necomparabile (suspensii, emulsii, geluri, roci, aliaje etc.).

b) **Soluțiile coloidale** au gradul de dispersie între 10^7 și 10^5 ; aceste dispersii au particulele în formă de micle sau de macromolecule, ale căror dimensiuni sînt cuprinse între 10^{-7} și 10^{-5} cm (între 1 și 100 m μ).

c) **Soluțiile** au gradul de dispersie de ordinul 10^8 ; particulele dispersate se află în formă de atomi și molecule, avînd dimensiunea a de ordinul de mărime de 10^{-8} cm (1 Å).

1. SUSPENSIILE

Sistemele cu un grad mic de dispersie, cuprins între 10^{-5} și 10^{-3} , se numesc suspensii. Ele sînt foarte numeroase în natură; multe suspensii se prepară pentru nevoi tehnice și medicale. Unele din aceste suspensii sînt macroscopice; astfel, apa unui rîu de cîmpie este o suspensie de particule de argilă, nisip etc., vizibile cu ochiul; de asemenea, aerul plin de pulberi naturale în timpul unei furtuni, sau atmosfera industrială care conține pulberi minerale (fabrici de oxid de zinc, de ciment, topitorii etc.) sau organice (țesătorii, filaturi etc.).

Alte suspensii sînt microscopice. Astfel, suspensia de stearat de sodiu (săpun obișnuit) are particulele atît de mici, încît fiecare în parte nu se vede, dar se văd toate laolaltă, sub forma unei tulbureli pronunțate.

Din punctul de vedere al stării de agregare a fazei dispersate, suspensiile sînt de două categorii: suspensii solide și suspensii lichide sau gazoase (emulsii).

În rezumat, la suspensii, atît faza dispersă, cît și mediul de dispersie pot fi solide, lichide sau gaze. Tabelul 24 cuprinde exemplificări sinoptice și arată cît de cuprinzător este domeniul dispersiilor în această categorie a suspensiilor.

a) **Suspensiile solide.** Pentru această categorie de dispersii sînt interesante de urmărit, din punctul de vedere al studiului fizic, prepararea suspensiilor și unele din caracterele lor.

În general, suspensiile se prepară printr-o mărunțire mecanică și dispersarea particulelor în mediul de dispersie. Suspensiile medicamentoase se obțin prin metode mecanice de acest fel. Suspensiile fiind caracterizate printr-o anumită instabilitate, este indicat, mai ales la cele medicamentoase, să se agite înainte de întrebuințare, pentru a se obține uniformizarea.

Se mai pot obține suspensii prin scăderea solubilității anumitor substanțe dizolvate. Astfel, dacă preparăm o soluție în alcool de rășină, fie rășină de brad, fie colofoniu, fie gumă mastix sau rășină benzoe și filtrăm soluția obținută, se constată că ea are toate calitățile unei soluții moleculare: este limpede, nu prezintă fenomenul Tyndall etc. De îndată ce diluăm alcoolul în care a fost dizolvată rășina, adică de îndată ce turnăm

Diferitele categorii de dispersii
Mediul de dispersie

		<i>Solid</i>	<i>Lichid</i>	<i>Gazos</i>
Faza dispersată	Solidă	argilă și nisip fin suspendate în calcar	suspensii de argilă, de nisip, în apă; lapte de var; suspensii medicinale	pulberi minerale în aer; aerosoli, pulberi industriale în aer; cărbunele (din fum)
	Lichidă	mercur în tufuri vulcanice; apa adsorbită	emulsii: lapte, latexul de cauciuc, de păpădie, de cok-sagiz	ceața, gudroanele (din fum)
	Gazoasă	spume solide, corpuri poroase	diferite spume	vapori metalici în aer

apă în soluția de rășină, aceasta, nemaifiind solubilă în alcool diluat, iese din soluție, dar nu se depune, ci rămâne în suspensie sub formă de particule foarte mici. Substanțe medicamentoase suspendate în aer pentru administrare în scopuri terapeutice sînt numite impropriu *aerosoli*; se obțin pulverizînd soluții de substanțe medicamentoase solide, dizolvate într-un lichid. Picăturile foarte mici de soluție avînd o suprafață mare de contact cu aerul, solventul se evaporă și substanța medicamentoasă solidă (uneori lichidă) rămîne în stare extrem de fin divizată, alcătuiind suspensia, numită aerosol, care se administrează sub formă de inhalație etc.

Suspensiile solide au cîteva caractere comune. Gradul lor de dispersie este mic, așa că particulele unora sînt relativ mari, iar la altele sînt mai mici, însă nu atît de mici încît să nu se vadă că există o substanță suspendată în mediul respectiv. Suspensia nu este deci transparentă, ci mai mult sau mai puțin opacă. Stabilitatea suspensiilor crește cu gradul de dispersie, fiindcă, cu cît particulele sînt mai mici, cu atît pot fi ținute mai bine în suspensie prin fenomenele de tensiune superficială. Culoarea suspensiilor este în general albă, chiar dacă substanța dispersată este incoloră în stare solidă. Aceasta se datorește faptului că particulele, extrem de numeroase și extrem de mici, reflectă lumina. Culoarea albă nu este deci a lor, ci a luminii pe care o reflectă.

Particulele în suspensie fină poartă sarcini electrice și prezintă fenomenul de electroforeză (despre care se va vorbi mai pe larg la coloizi).

b) **Emulsii.** Spre deosebire de suspensii, în care faza dispersată este solidă, emulsiile sînt sisteme alcătuite dintr-un lichid dispersat într-un lichid și uneori dintr-un gaz dispersat într-un lichid (spumă) sau dintr-un lichid dispersat într-un gaz (ceață).

În natură se întîlnesc adesea asemenea sisteme: laptele, latexul plantei de cauciuc, de păpădie, de cok-sagiz etc.

Laptele este o emulsie de globule foarte mici de unt într-un lichid format din apă, care conține în soluție lactoză și săruri minerale; și în soluție coloidală și suspensie proteine, cazeină etc. Dimensiunile particulelor de unt variază între 1 și 10 μ , diametrul mediu fiind 2,5 μ . Lăsînd laptele în repaus sau supunîndu-l centrifugării, untul se separă din lapte. Omoge-

nizind emulsia cu ajutorul unor mori speciale, diametrele globulelor de materie grasă pot fi reduse la o sutime din mărimea lor normală, și untul nu se mai poate separa din lapte.

Latexul de cauciuc este o emulsie a unei hidrocarburi ($C_{10}H_{16}$)_n în apă care conține în soluție săruri minerale, zaharuri și în soluție coloidală substanțe proteice. Globulele emulsionate, de formă sferică sau elipsoidală, au un diametru cuprins între 0,5 și 3 μ .

Emulsiile se cunoșteau în practică de mult. Ele au început a fi studiate pe la mijlocul secolului trecut (Selmi, 1845). În 1899, Donnan face legătura între procesul de emulsionare, stabilitatea emulsiilor și variația tensiunii superficiale la limita globulelor de substanțe emulsionate.

În mod artificial, emulsiile se obțin prin batere prelungită, agitare sau amestecarea lichidelor în prezență. De multe ori însă aceasta nu este suficient, și atunci trebuie folosită o substanță care înlesnește prepararea emulsiei. Astfel, uleiurile esențiale (uleiuri eterice) extrase din flori și fructe, compuse în bună parte din hidrocarburi terpenice și derivați oxigenați ai lor nu sînt solubile în apă, însă sînt foarte solubile în alcool concentrat; dacă diluăm alcoolul, uleiul esențial dizolvat iese din soluție sub forma unor globule extrem de mici, care formează în alcoolul diluat o emulsie, ce se menține în această stare, vreme foarte îndelungată.

Se mai pot obține emulsii cu ajutorul ultrasunetelor; această metodă se reduce în esență tot la o agitare mecanică extrem de rapidă și puternică; ce dispersează particulele lichide formînd o emulsie. Dacă pe fundul unei cuve cu mercur se așază un cristal piezoelectric, conectat într-un circuit de înaltă frecvență, și dacă deasupra mercurului se află apa, ultrasunetele (despre care se va trata la partea privind „Acustica”) fragmentează mercurul în picături atît de mici, încît acestea se emulsionează în apă; la suprafața de separare a celor două lichide se observă astfel un nor fin de mercur emulsionat în apă (fig. 172). Deși cele două lichide nemiscibile au o diferență de densitate considerabilă (mercurul are $D = 13,59$), totuși emulsiile de mercur în apă pot atinge un grad de dispersie foarte mare, particulele avînd aproape mărimea celor coloidale.

În industria chimico-farmaceutică și în tehnică, în general, există numeroase dispozitive de emulsionare, unele bazate pe principiile menționate: dispersarea substanțelor se face fie prin simpla fragmentare a picăturilor mai mari în altele mai mici, fie prin formarea unei pelicule de lichid, care, distrugîndu-se singură, se transformă în numeroase picături foarte mici.

Emulsionarea se poate înlesni prin diferite mijloace, printre care menționăm emulsionanții (emulgatorii). În adevăr, se cunosc o serie de procedee pentru obținerea emulsiilor, fără a utiliza acțiunea mecanică, ci numai introducînd un amestec emulsionant în mediul de dispersie. De exemplu, introducînd în apă printr-un tub capilar o soluție compusă din 3 ml ulei de ricin, 25 ml alcool 95%, 0,10 g săpun și 0,10 g camfor, uleiul se dispersează imediat ce soluția ajunge în apă, dînd o emulsie stabilă.

Se poate ilustra importanța emulgatorilor prin următoarea experiență. Într-un cilindru cu dop șlefuit se introduce cam $2/3$ din volum apă și un strat

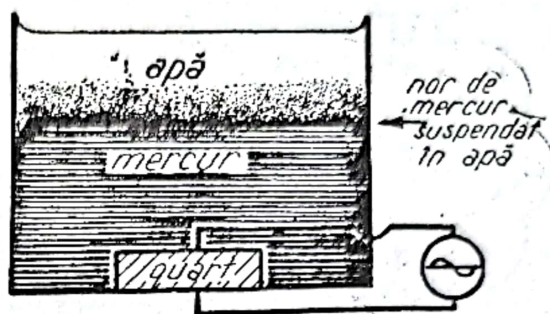


Fig. 172 — Emulsie de mercur în apă.

de ulei de floarea-soarelui. În alt cilindru la fel, în afară de cele două substanțe nemiscibile, se mai adaugă puțină soluție de săpun. Ambii cilindri se agită simultan și se așază pe masă. Se observă că în cilindrul fără săpun emulsia are un grad mic de dispersie și se distruge repede, uleiul adunându-se la suprafața apei, în timp ce în cilindrul în care s-a adăugat emulgatorul se obține o emulsie cu grad mare de dispersie și care rămâne stabilă. Emulgatorul, care este în acest caz stearatul sau oleatul de sodiu, își orientează moleculele pe particulele sferice ale uleiului de floarea-soarelui. Moleculele orientate ale săpunului se dispun cu radicalul de hidrocarbură spre ulei și cu grupa polară spre apă (fig. 173), formând cu aceasta un hidrat stabil, care micșorează tensiunea superficială a lichidelor în contact și nu lasă să se unească globulele de ulei.

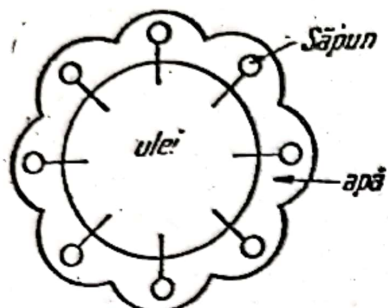


Fig. 173 — Emulsionarea cu ajutorul săpunului.

În tehnica medico-farmaceutică se stabilizează o emulsie de ulei de floarea soarelui în apă adăugându-se puțină soluție de amoniac (hidroxid de amoniu NH_4OH), care saponifică stratul periferic al fiecărei globule de ulei; acest strat de săpun, format dintr-un radical de hidrocarbură liposolubil și un grup polar- NH_4 , care este hidrofil, se orientează așa cum am arătat și formează un strat stabilizator.

În practica medicală se folosesc emulsiile medicamentoase numite liniment amoniacal și liniment oleo-calcăr. În acest din urmă caz, emulsia de ulei în apă se stabilizează cu hidroxid de calciu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — apă de var.

Emulsiile au un accentuat caracter de instabilitate, care constă în faptul că globulele de substanță dispersată, în neconținută mișcare, se apropie la un moment dat una de alta și se unesc; ele nu pot rămâne însă în acest caz cu suprafața lor, devenită prea mare pentru volumul respectiv. Abandonate forței de tensiune superficială, două picături unite capătă suprafața cea mai mică, care știm că este cea sferică, și astfel cele două globule mici se reunesc într-o globulă mai mare, cu suprafața mai mică decât a celor două componente. Astfel, după cităva vreme, emulsia se distruge și nu avem decât două straturi de lichid care nu se amestecă (fig. 174).

În general, emulsiile sînt eterogene din punct de vedere optic, dînd fenomenul Tyndall, pe care-l vom întîlni și la coloizi. Globulele dispersate poartă sarcini electrice și pot prezenta fenomenul de electroforeză, pe care-l vom studia la solurile coloidale. Emulsiile de ulei în apă au conductibilitate electrică, pe cînd emulsiile de apă în ulei nu sînt conductibile. Această diferență de comportare electrică poate servi uneori la stabilirea naturii emulsiei. Din cauza gradului de dispersie mic al emulsiei și a diferenței mari dintre indicii de refracție al fazei dispersate și cel al mediului de dispersare, emulsiile sînt de obicei opace și au o colorație albă. Emulsiile foarte diluate și cu grad de dispersie mare au în lumina reflectată o nuanță albastrie și sînt transparente sau puțin tulburi. Cînd

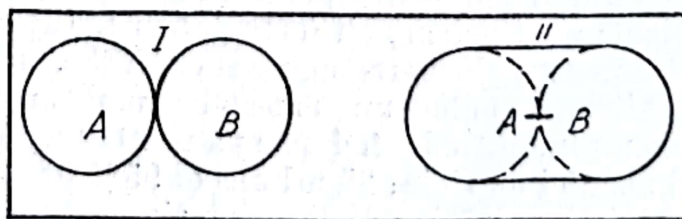


Fig. 174 — Distrugerea emulsiilor prin unirea globulelor dispersate.

indicii de refracție au valoare egală și, atît mediul de dispersare, cît și faza dispersă, difuzează în mod egal lumina, emulsia devine transparentă. Acesta este cazul emulsiei de glicerină în CCl_4 , în amestec cu oleatul de calciu. Cînd indicii de refracție au valori vecine, însă difuzarea luminii este diferită, emulsiile au irizații, prezentînd culorile spectrului.

Stabilitatea emulsiilor depinde de anumiți factori:

1. Influența tensiunii superficiale la contactul dintre lichidele emulsionate: în timpul emulsionării uleiului în apă, divizarea uleiului în picături din ce în ce mai mici mărește suprafața totală a picăturilor. Dacă emulsia este lăsată în repaus, tensiunea superficială micșorează suprafața totală de contact între globulele de ulei, reunindu-le — așa cum am arătat — pînă ce ele formează din nou o singură masă. Deci, distrugerea emulsiei se face cu atît mai ușor cu cît tensiunea superficială a uleiului este mai mare. Pentru a obține emulsii stabile, tensiunea superficială a celor două faze trebuie să fie cît mai slabă cu putință. Aceasta se realizează de obicei adăugînd celor două lichide care se emulsionează o cantitate mică dintr-o a treia substanță solubilă în una din substanțele în prezență, și care este destinată a coborî tensiunea superficială la contactul dintre cele două lichide emulsionate.

Pentru cazul parafină-apă, experiența arată că o cantitate infimă de săruri de sodiu ale acizilor organici cu un număr mare de atomi de carbon provoacă o micșorare considerabilă a tensiunii superficiale; pe de altă parte, experiența a arătat că emulsiile obținute în prezența sărurilor de sodiu ale acidului laurinic și a altor acizi din seria grasă, cu o greutate moleculară mare, posedă o mare stabilitate. Aceasta arată că emulgatorii nu contribuie numai la emulsionare, dar fac și ca emulsiile să fie stabile.

2. Densitatea lichidelor în prezență influențează de asemenea stabilitatea emulsiei. O mare diferență de densitate între cele două lichide care se emulsionează favorizează o adunare a picăturilor în partea superioară sau inferioară a sistemului, după cum densitatea lichidului dispersat este mai mică (ulei) sau mai mare (mercur) decît a lichidului care constituie mediul de dispersare. De aceea se indică deseori ca o condiție favorabilă stabilității emulsiei o cvasi egalitate a densităților lichidelor în prezență. Se realizează totuși emulsii stabile și cu lichide ale căror densități sînt foarte deosebite între ele (de pildă, mercur în apă).

3. Viscositatea lichidelor are de asemenea importanță în procesul de emulsionare. Astfel, viscositatea mediului de dispersie are un anumit rol în stabilitatea unei emulsii. Cu cît viscositatea mediului este mai mare, cu atît picăturile dispersate se vor deplasa mai greu pentru a veni în contact una cu alta. Într-un mediu mai viscos, intensitatea mișcării browniene de care sînt animate particulele lichide este mai mică, și deci se micșorează intensitatea șocurilor pe care această mișcare le poate produce între diversele globule, astfel că se împuținează prilejurile de distrugere a emulsiei. Viscositatea are însă o importanță mai mică decît tensiunea superficială dintre cele două faze. Se cunosc multe cazuri în care o viscositate mare a lichidului emulsionat nu permite obținerea unei emulsii stabile, în timp ce o urmă de săpun, care nu influențează sensibil viscositatea, dar care, după cum am arătat, micșorează mult tensiunea superficială a celor două faze în contact, permite obținerea unor emulsii foarte stabile.

Distrugerea emulsiilor. Emulsiile se distrug cu timpul de la sine, în general din cauza reunirii globulelor mici în picături mai mari, care, dacă sînt de densitate diferită de a mediului de dispersie, se ridică la suprafață sau se așază la fundul mediului de dispersie.

În practică se pune de multe ori problema distrugerii emulsiilor.

Procesul de distrugere se poate accelera provocând stratificarea lichidelor prin mijloacele care duc la micșorarea rezistenței peliculei protectoare și la mărirea posibilităților de atingere a globulelor între ele, ceea ce duce la ruperea peliculei, din cauza presiunii.

Pentru distrugerea emulsiilor sînt utilizate anumite procedee, din care descriem cîteva mai importante:

— Adăugînd substanțe care se adsorb la suprafața de separație a particulelor emulsionate, ele distrug prin aceasta rezistența peliculei de protecție. Dacă avem de exemplu o emulsie de ulei în apă, emulsionată cu ajutorul săpunului de sodiu, ea se poate distruge prin înlocuirea parțială a săpunului de sodiu cu cel de calciu. Cînd se stabilește un anumit raport între aceste două feluri de săpun, se obține o emulsie foarte nestabilă, ceea ce permite distrugerea ei.

— Se poate provoca de asemenea distrugerea unei emulsii distrugînd agentul stabilizator. Astfel, adînd un acid mineral (H_2SO_4) la o emulsie stabilizată cu ajutorul săpunului (oleat de sodiu, de exemplu), acidul descompune săpunul dînd sarea de sodiu respectivă și acid oleic, care nu mai are proprietăți emulsionante, așa că emulsia este curînd distrusă.

— Adăugarea de ioni polivalenți descarcă sarcinile electrice ale globulelor de substanță emulsionată. Prin ridicarea temperaturii se poate de asemenea distruge emulsia. Se mai folosește în același scop și filtrarea prin filtre care sînt udate de mediul de dispersie, dar nu de faza dispersă a emulsiei. Astfel, emulsiile de uleiuri eterice care se produc în soluțiile acestor uleiuri în alcool, prin diluare cu apă, se pot filtra printr-o hîrtie de filtru: soluția trece, iar uleiul rămîne pe filtru.

— De multe ori se folosește o acțiune mecanică, cum este centrifugarea. Centrifugarea simplă ajunge deseori pentru a distruge emulsia; în acest mod se separă, prin separatoare centrifugale, untul de restul laptelui.

Întrebuințările emulsiilor sînt foarte variate, atît în medicină, cît și în tehnică, în diferitele ramuri ale economiei, transporturilor etc.

În medicină, emulsionarea se folosește pentru a ușura administrarea diferitelor substanțe medicamentoase grase, cum este uleiul de ficat de *Gadus morrhua* (untura de pește), căruia îi acoperă astfel gustul și mirosul; linimentul menționat este o emulsie medicamentoasă.

Pentru igiena corporală și igiena generală are un rol deosebit emulsionarea de către spuma de săpun a substanțelor grase în care se află încorporate impuritățile. Suspensiile de săpun în apă permit să se obțină cu ușurință emulsii stabile în apă. Spălatul cu ajutorul apei cu săpun se explică prin producerea unei emulsii între apa de săpun și materiile grase care impregnează rufe de curățat. Prin muiera rufelor cu carbonat de sodiu se formează mai întîi un săpun, prin saponificarea de către sodă a grăsimilor și acizilor grași liberi aflați de obicei în grăsimi; astfel, folosirea sodei de rufe echivalează cu cea a săpunului. De aceea se obțin rezultate bune la spălat și fără săpun, numai cu sodă, cu plante sau coji de plante bogate în saponină: pulpe de castane de India, rădăcină de ciuin (*Saponaria*) etc.

2. STAREA COLOIDALĂ

Încă din evul mediu, alchimiștii cunoșteau soluțiile coloidale, cum ar fi de exemplu „aurul potabil” sau „apa aurită”, care erau soluții coloidale de aur în apă. În secolul al XVIII-lea se pulverizau într-un mojar foi de aur, într-un curent de apă. Și azi aurarii obțin în reziduuri aurul sub formă.

de dispersie coloidală de culoare albastră. În medicină se atribuiau acestor soluri coloidale, în epoca amintită, proprietăți curative remarcabile.

La mijlocul secolului trecut, Francesco Selmi studiază soluțiile coloidale, pe care le numește pseudosoluții. Thomas Graham a pus în evidență unele din proprietățile fundamentale ale coloizilor, a indicat mijlocul de a le separa prin dializă și a creat terminologia folosită și azi.

Am arătat mai înainte că Graham, constatând că substanțele care cristalizează trec mai ușor prin membrane animale, adică dializează, pe când cele care nu cristalizează nu dializează, a numit prima categorie cristaloizi și a doua categorie coloizi (de la *kolla*=clei). Deosebirea dintre cristaloizi și coloizi și lipsa de informare suficientă au făcut pe Graham să afirme în mod nejust că cristaloizii și coloizii constituie două lumi deosebite ale materiei.

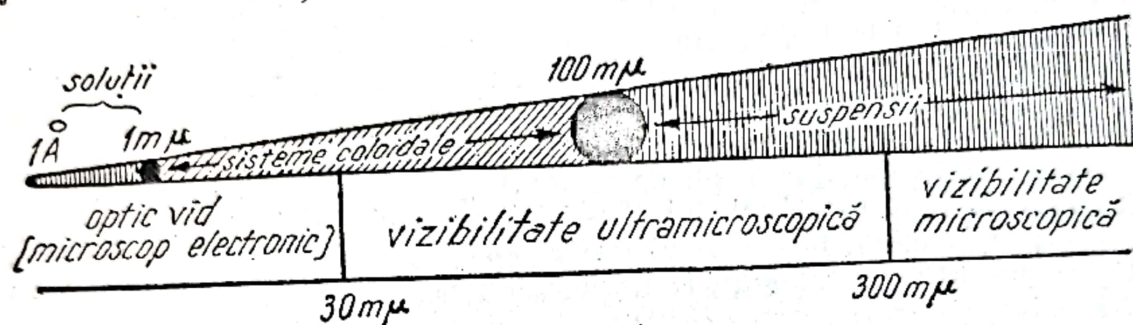


Fig. 175 — Scara dispersiilor.

D.I. Mendeleev (1905) și Th. Svedberg (1907) au arătat în această privință că clorura de sodiu, care dă în apă o soluție adevărată, dă în alcool absolut, în benzen, în benzină, în alcool metilic, o soluție coloidală. Pe de altă parte, substanțe cunoscute pînă acum numai sub formă coloidală, cum sînt proteinele, au putut fi izolate sub formă cristalizată.

Deci, nu se poate vorbi de substanțe coloidale, ci de *sisteme coloidale* sau de o *stare coloidală* a materiei. În mod curent se folosește însă numele de *coloizi* pentru substanțele mai des întîlnite în această stare.

a) **Locul în scara dispersiilor.** Coloizii sînt sisteme disperse cu particule de dimensiuni variind între 1 și 100 μm (W. Ostwald). Particulele coloidale avînd deci mărimea cuprinsă între $a = 10^{-7}$ și 10^{-5} cm gradul lor de dispersie Δ (care am văzut că este inversul diametrului echivalent al particulei) este cuprins între 10^7 și 10^5 (Dumanski). Unii autori deplasează limita superioară a mărimii particulelor coloidale pînă la 200 μm .

În scara dimensiunilor fazei dispersate, locul particulelor coloidale reiese din graficul sinoptic din figura 175, în care se vede că ele sînt situate între soluțiile adevărate, care au particulele de dimensiuni moleculare, deci de ordinul 1—10 Å și între suspensii, care au particulele de la 100 μm în sus.

În timp ce soluțiile adevărate sînt perfect limpezi și nu oferă nici un fel de fenomene de difuzie în lumina perpendiculară pe direcția vederii, solurile sînt perfect limpezi macroscopic, dar prezintă fenomenul Tyndall, și particulele se văd la ultramicroscop în mișcare browniană, iar suspensiile sînt, după cum am arătat, substanțe tulburi, începînd de la cele slab opalescente, la cele cu totul opace, la care se vede și macroscopic existența unor particule în suspensie fină.

În privința posibilității de observare microscopică, împărțirea este mai deosebită: de la 0,1 la 30 μm regiunea este optic vidă și nu se vede la ultramicroscop nici o particulă; ea cuprinde soluțiile propriu-zise și o

mică parte din solurile coloidale, care au particulele între 1 și 30 m μ . În ultimele decenii s-a pătruns cu ajutorul microscopului electronic în această regiune. Între 30 m și 300 m μ avem regiunea în care se pot urmări cu ultra-microscopul particulele coloidale și suspensiile de dimensiuni mai mici.

Particulele de la 300 m μ în sus sînt de vizibilitate microscopică, în lumina ultravioletă și în cea vizibilă.

Ținînd seama de această posibilitate de cuprindere a lor în cîmpul microscopic, particulele din regiunea de pînă la 30 m μ se numesc amicrone, cele dintre 30 și 300 m μ submicrone și cele de la 300 m μ în sus, microne.

b) **Clasificarea coloizilor.** Coloizii se pot clasifica după originea lor, după legătura cu mediul de dispersare, după structură.

După *origine*, coloizii sînt naturali sau artificiali.

Coloizii *naturali* se întîlnesc foarte des în lumea animală și vegetală, și de multe ori și în lumea minerală. Laptele este o soluție coloidală de cazeină și albușul de ou este o soluție coloidală de albumină. Multe produse naturale de origine biologică, puse în contact cu apa sau cu alți solvenți, în diferite condiții, formează soluții coloidale; amidonul și guma arabică, fierte în apă, dau o soluție coloidală; celuloza dă o soluție similară prin dizolvare în reactivul lui Schweitzer; cauciucul formează o soluție coloidală în benzină, benzen etc. Dintre coloizii minerali sînt mai cunoscuți hidroxidul feric coloidal, fericianura ferică, sulfura de arsen, bioxidul de siliciu.

Coloizii artificiali sînt foarte numeroși; de aceștia ne vom ocupa în capitolul privitor la obținerea lor. Menționăm aici: soluția coloidală de nitroceluloză în alcool și eter, cunoscută sub numele de colodiu și folosită, atît în medicină, cît și în lucrările de laborator; soluția coloidală de acetat de celuloză în cloroform etc.

O clasificare care ține seama de interdependența dintre faza dispersată și mediul de dispersie este cea care împarte coloizii în liofili și liofobi.

Coloizii liofili constituie sisteme coloidale, în care faza dispersă este strîns legată de mediul de dispersie. Dacă mediul de dispersie este apa, această categorie de coloizi ia numele de coloizi hidrofilii. În cazul proteinelor, legătura dintre particula coloidală și mediu este foarte puternică și le modifică chiar însușirile.

Coloizii liofobi sînt sisteme coloidale în care faza dispersă nu este legată intim de mediul de dispersie. Dacă acest mediu este apa, coloizii din această categorie se numesc coloizi hidrofobi. Din această categorie fac parte solurile metalice de aur, argint, hidroxid feric etc.; aceștia prezintă fenomenul de coagulare în diferite împrejurări, ceea ce la coloizii liofili nu se întîmplă.

În ceea ce privește structura particulele coloidale dispersate sînt de asemenea de două categorii: unele particule coloidale sînt alcătuite din grupe de molecule sau de atomi, numite micle; altele sînt alcătuite din molecule mari (macromolecule), cum este cazul cauciucului, coloizilor din care se obțin fibrele textile artificiale sau sintetice etc. Aceste macromolecule sînt uneori mult mai mari decît miclele substanțelor coloidale minerale și intră în gama de mărime pe care am văzut-o că corespunde coloizilor.

După unii autori, macromoleculele sînt grupate și ele în micle.

În fine, tot în cadrul definițiilor și clasificărilor trebuie menționate denumirile de soluție coloidală sau „sol” dată de Graham acestor dispersii, spre a le deosebi de soluțiile adevărate, moleculare, și de „gel” pentru forma gelatinizată, coagulată, coloizilor.

c) **Prepararea coloizilor.** Coloizii naturali dau soluții (soluții coloidale) prin simplul contact cu apa: acesta este cazul gelatinei. Introdusă în apă, gelatina se înmoaie și apoi, încălzită în apă, se dizolvă, dând o soluție coloidală de gelatină.

Coloizii artificiali se prepară prin diferite metode: unele sînt metode de dispersare, cum este cazul subdiviziunii fine a materiei într-un lichid, iar altele sînt de condensare, cînd moleculele și atomii se grupează pentru a forma miclele.

Dintre metodele de preparare, vom dezvolta aici mai mult metodele fizice, și anume cele care au legătură cu producerea de coloizi folosiți în medicină și în general în cercetarea biologică. Celelalte metode vor fi numai amintite pentru întregirea cadrului.

Metode mecanice. Triturînd fin substanțe solide într-un mediu de dispersie, se obțin uneori suspensii foarte fine, care se apropie de solurile coloidale. Folosind mori speciale, numite mori de coloizi, și folosind la început o cantitate mică de solvent, care este apoi mărită din ce în ce, se obțin soluții coloidale cu grad de dispersie mare. De multe ori este necesară adăugarea unui coloid protector sau a altor substanțe

pentru a obține pe cale mecanică un coloid bun. Măcinînd fin sulful împreună cu uree sau cu zahăr și adăugînd apă se obține un sol de sulf coloidal al cărui grad de dispersie este cu atît mai mare, cu cît proporția de uree sau de zahăr este mai mare.

Metodele ultrasonice. Cu aparatul cu care am obținut emulsii de mercur în apă se pot obține și soluții coloidale, cu un grad de dispersie foarte avansat. Pentru a prepara coloizi se folosește de multe ori un dispozitiv ultrasonic care dă soluții coloidale în modul următor: piezocuarțul generator de ultrasunete vibrează într-un recipient cu ulei, în care se află electrolizorul de oțel EO (fig. 176). În electrolizor are loc electroliza unei substanțe electrolitice, vasul servind drept catod, iar în soluția electrolitică fiind introdus anodul solubil A. În decursul electrolizei, metalul se depune la catod, adică pe pereții vasului EO. Vibrațiile ultrasonore transmise prin ulei electrolizorului de oțel dispersează metalul depus în vas; gradul de dispersie este atît de mare încît se obține în vasul EO o soluție coloidală a metalului respectiv.

Metodele de condensare a vaporilor metalici în diferite lichide și îndeosebi în apă dau de asemenea soluții coloidale. Roghinski și Salmikov au dat o metodă perfecționată, bazată pe condensarea vaporilor metalici și nemetalici în vid pe suprafața unui lichid răcit puternic; ei au obținut astfel hidrosoluri de Hg, Cd, S, P și organosoluri (în solvenți organici) de Hg, Cd, Na, K, Rb, Cs, în benzen, toluen, xilen, hexan, alcool și eter. Aceste soluții au gradul de dispersie mare, particulele fiind formate din 27 de atomi.

Metoda electrică. Din categoria metodelor fizice face parte și metoda electrică. În această metodă, descrisă de G. Bredig în 1898, se produce un

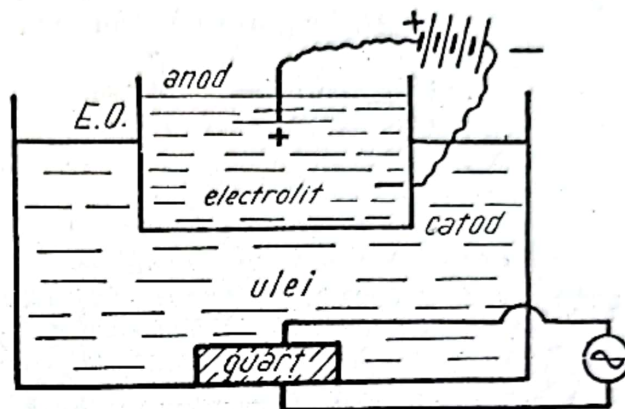


Fig. 176 — Aparat pentru prepararea soluțiilor coloidale cu ajutorul ultrasunetelor.

arc electric între doi electrozi metalici, scufundați într-un lichid, și se obțin în jurul catodului un mare număr de particule metalice foarte mici. Aceste particule provenind din pulverizarea electrică (prin smulgere de fragmente foarte mici din electrodul de metal) se pot dispersa în lichid formând un sol metalic. Se folosesc două vergele metalice (fig. 177), ale căror capete sînt scufundate în apă sau în alt lichid și care sînt conectate într-un circuit electric de curent continuu (5—10 A și 80—100 V).

Lichidul încălzindu-se puternic, vasul se așază într-un alt vas cu gheață. Temperatura joasă astfel obținută nu are o influență sensibilă asupra gradului de pulverizare a electrozilor în solventul respectiv, dar micșorează sensibil descompunerea lichidului, oxidarea vaporilor, producerea de substanțe străine și de particule mai mari decît cele dispersate coloidal. Se

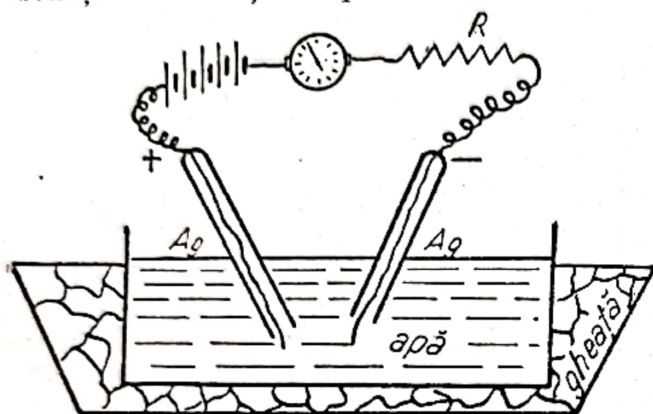


Fig. 177 — Metoda Bredig de preparare electrică a coloizilor metalici.

favorizează adesea producerea unor soluri metalice prin adăugarea unei cantități de NaOH sau de Na_2CO_3 , care permite să se obțină soluri puternic dispersate și intens colorate.

The Svedberg (1907), studiind obținerea solurilor cu ajutorul arcului electric, a stabilit experimental că arcul produs într-un circuit de înaltă frecvență (10^5 — 10^7 Hz) dă naștere în lichide la soluri mai fin dispersate și mai pure decît arcul electric produs de curentul continuu sau alternativ de frecvență

joasă. Astfel, un alcoosol de cadmiu preparat prin pulverizare electrică este cenușiu în lumina reflectată, ceea ce indică un grad relativ mic de dispersie, deci particule mari, în timp ce, preparat cu ajutorul unui arc de înaltă frecvență, acest sol este negru în lumina reflectată, ceea ce arată un grad înalt de dispersie. Experiența a mai arătat că particulele coloidale sînt cu atît mai fine cu cît puterea generatorului de înaltă frecvență este mai mică.

Prin metodele electrice se obțin soluri puternic dispersate, particulele avînd raza de următoarele dimensiuni (în $\text{m}\mu$): Au = 2,8; Zn = 2,9; Pt = 3,8; Cd = 5; Sn = 12,6; Bi = 17 $\text{m}\mu$.

La o temperatură foarte coborîtă (-70°C) s-au obținut soluri de sodiu și potasiu în hidrocarburi și în eter; aceste soluri aveau culoarea roșie și albastră. Rivelin și Ostrovski au obținut soluri de Sn, Pb, Cu, Bi, Ag, cu particule de 10 $\text{m}\mu$. Principiul acestor metode este folosit și azi la prepararea diferitelor soluri metalice folosite în terapeutică.

Metoda iradierii. Svedberg a arătat că se poate prepara o soluție coloidală a unui metal supunîndu-l, în prezența lichidului folosit ca solvent, acțiunii razelor ultraviolete. El a obținut astfel soluri de argint în apă și alcool.

Prin concentrarea soluțiilor. În locul condensării în stare de vapori se poate face condensarea și din soluții. Astfel, savantul rus Vaimarn, răcind cu aer lichid soluții alcoolice de sulf, selen, telur, obține soluri la evaporarea parțială a solventului; dacă se răcește o soluție apoasă de acid molibdenic, se obține hidrosolul de MoO_3 , un sol puternic dispersat.

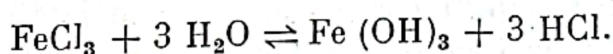
Metoda înlocuirii solventului. Metoda condensării prin înlocuirea solventului a fost folosită de Jean Perrin încă în 1910; acesta a preparat o

soluție alcoolică de ceară (și de cauciuc) și, diluind-o cu un exces de apă, a obținut o soluție suprasaturată de ceară (sau de cauciuc), care conține particule coloidale. Am arătat mai înainte că prin această metodă se pot obține și suspensii și emulsii. Dacă particulele obținute pe această cale sînt de mărimea celor din gama coloizilor, avem o soluție coloidală. Astfel, dacă picurăm cîteva picături dintr-o soluție alcoolică de mastic sau de celofan într-un vas cu apă multă, aceste substanțe nu mai sînt solubile în noul solvent (alcool foarte diluat) și, dacă sînt luate în cantități potrivite, dau adevărate soluri. La fel se obțin hidrosoluri de sulf (și de fosfor) turnînd picătură cu picătură, într-un exces de apă, o soluție de sulf saturată la rece (sau de fosfor) în alcool sau în acetonă. Un eterosol de seleniu se prepară folosind ca solvent intermediar sulfura de carbon.

Metodele chimice de preparare a solurilor sînt foarte numeroase. Expunerea lor dezvoltată ieșind însă din cadrul acestei lucrări, vom aminti succint numai unele mai importante. Prin reducerea unor săruri, se obțin soluri metalice. Un astfel de sol metalic, bine studiat și care se cunoaște de mult, este hidrosolul de aur, obținut încă din 1685 de Andreas Cassius; acest hidrosol are culoarea roșie și este cunoscut sub numele de „purpura lui Cassius”. În 1857, M. Faraday a obținut soluri aproape pure reducînd o soluție de AuCl_3 cu fosfor dizolvat în eter. Solurile de aur obținute au culoarea roșie-purpurie și uneori albastră și violetă, după gradul de dispersie a aurului. Voigt (1924) a accelerat reducerea unei soluții slabe de AgNO_3 cu gumă arabică, iradiînd amestecul cu raze ultraviolete.

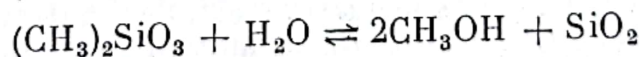
Peptizarea constă în transformarea unui precipitat în soluție coloidală; astfel, precipitatul de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ se poate transforma în sol cu ajutorul unei cantități mici de acid clorhidric; această cantitate este de sute de ori mai mică decît cea stoechiometric necesară pentru dizolvarea substanței.

Hidroliza furnizează de asemenea soluri metalice. Un hidrosol de hidroxid feric se prepară turnînd, picătură cu picătură, în apă care fierbe, o soluție de clorură ferică diluată. Are loc hidroliza după următoarea ecuație reversibilă:



Culoarea galbenă a clorurii ferice trece în roșul intens al hidroxidului feric coloidal. Acidul clorhidric se elimină prin dializă. Acest sol este foarte potrivit pentru demonstrarea însușirilor coloizilor liofobi.

De asemenea, dacă se fierbe o soluție apoasă de silicat de metil, într-un balon cu refrigerent ascendent, se obține o hidroliză completă a substanței; eliminînd alcoolul metilic format prin hidroliză se obține un sol de silice (bioxid de siliciu):



d) *Proprietățile mecanice ale coloizilor.* Dintre proprietățile fizice ale coloizilor trebuie să examinăm în primul rînd cele legate de aplicarea, în sistemele coloidale, a fenomenelor moleculare studiate în capitolele anterioare.

Mișcarea browniană. Examinînd o picătură de hidrosol de hidroxid feric sau de alt hidrosol la ultramicroscop, se constată că particulele se află în mișcare browniană, pe o traiectorie caracterizată prin neregularitatea ei. La soluri, mișcarea browniană se observă mai bine decît la suspensii, din cauză că, particulele coloidale fiind mai mici, loviturile moleculelor mediului determină o deplasare mai mare, ceea ce face mișcarea particulei mai vizibilă. Prezentarea matematică a fenomenului a fost făcută de Einstein în 1906 și de Smoluchowski în 1908, independent unul de altul, iar cerce-

tările experimentale au fost efectuate de Szigmondy, Perrin și Svedberg în aceeași epocă (1907).

După aceste cercetări, rămase clasice, mișcarea browniană a particulelor coloidale se supune legilor mișcării cinetico-moleculare, viteza acestor particule fiind însă mult mai mică decât cea a moleculelor de gaz libere, deoarece particulele coloidale sînt de sute și mii de ori mai mari decât moleculele.

Difuziunea. Am arătat la studiul difuziunii că solurile difuzează mai încet decât soluțiile; ca și la suspensii, cauza acestei viteze micșorate este faptul că particula coloidală este mai mare decât cea dispersată molecular: la expresia energiei cinetice

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

dacă m crește, v trebuie să scadă pentru ca E să rămînă constant.

O experiență simplă arată diferența dintre viteza de difuziune a unui coloid și cea a unei soluții cristaloidale. Luăm într-o eprubetă cantități egale de soluție de CuSO_4 și de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ coloidal, de concentrație moleculară aproximativ egală și, amestecînd ambele soluții, turnăm repede amestecul pe o hîrtie de filtru mai mare; lăsînd să difuzeze și apoi să se evapore apa, se observă în mijlocul hîrtiei de filtru solul uscat de hidroxid feric roșu, iar în jurul său, difuzat mult mai departe, în același interval de timp, deci cu viteza mult mai mare, CuSO_4 albastru, rămas după evaporarea soluției comune. Difuziunea diferențială a unui coloid și a unui cristaloid, din cauza diferenței de mărime a particulelor și a fenomenelor legate de aceasta, se poate însă vedea mai bine la examinarea fenomenelor de osmoză la coloizi.

Osmoza. S-a crezut multă vreme că soluțiile coloidale nu au presiune osmotică. Făcînd însă osmoza solurilor în aparate manometrice, fie în osmometrul lui Dutrochet, fie într-un osmometru de colodiu, se observă că lichidul se ridică în tubul manometric la un nivel apreciabil. Pentru a elimina eventuala influență a cristalozilor, se introduce osmometrul care conține solul coloidal, fie în apă pură, fie în lichid intermicelar obținut dintr-un sol similar printr-o ultrafiltrare prealabilă.

Calitativ, presiunea osmotică a coloizilor trebuie să fie mai mică decât cea a cristalozilor, deoarece concentrația moleculară din relația care exprimă presiunea osmotică

$$P = 22,42 \times C_{mol}$$

este mică, în unitatea de volum aflîndu-se molecule foarte mari (macromoleculele) sau miclele, care sînt foarte mari, deci puține. Presiunea osmotică a unei soluții depinzînd de agitația moleculelor dizolvate și de ciocnirile lor cu membrana pe care nu o pot traversa, deci de mobilitatea lor, într-o soluție coloidală unde avem particule enorme (micle, macromolecule), mai puține și mai puțin mobile, presiunea osmotică trebuie să fie mult mai mică decât într-o soluție cristaloidă.

În organism, cu toată valoarea ei mică, presiunea osmotică a coloizilor are un rol important. Astfel, plasma normală are presiunea osmotică a coloizilor de ordinul a 25 mm Hg (34 cm apă). Coborîrea acestei presiuni face să apară, în anumite cazuri, edeme.

Tehnica măsurării presiunii osmotice a unui sol este ceva mai deosebită decât cea pentru soluțiile adevărate. În primul rînd, membranele semi-permeabile trebuie să aibă porii mai mici decât particulele coloidale, deci

trebuie să fie din categoria celor din care se confecționează dializoarele sau ultrafiltrele; în al doilea rând trebuie să se separe mai întâi o anumită cantitate de lichid intermicelar, prin ultrafiltrarea prin colodiu a unei părți din solul supus osmozei; după aceasta se introduce coloidul într-un osmometru format dintr-un sac de colodiu, prin dopul căruia străbate un tub manometric de sticlă. Dispozitivul se așază în întregime într-un termostat, pentru ca operația să decurgă la o temperatură perfect definită și constantă. Nivelul hidrosolului se ridică încet în tub deasupra nivelului lichidului exterior și atinge o anumită înălțime, unde se menține constant. Această înălțime măsoară presiunea osmotică a solului. Deși mult mai mici decât presiunile osmotice ale cristaloizilor, presiunile osmotice ale coloizilor sînt perfect măsurabile.

La hidrosolii de acid wolframic și de gumă arabică, care au un mare grad de dispersie, se observă adesea presiuni osmotice de o atmosferă. Solurile care au particulele mai mari, cum este cel de ferocianură de cupru, de sulfură de arsen, au presiuni osmotice foarte slabe, măsurînd cîteva centimetri de coloană de apă.

În general, presiunea osmotică a coloizilor, deși se conduce după legile amintite la studiul osmozei, prezintă unele aspecte care conferă un caracter mai complex legilor respective. Astfel, presiunea osmotică nu este totdeauna proporțională cu concentrația.

Tabelul 25 arată, după Duclaux, că raportul dintre presiunea osmotică și concentrație, care este constant la soluții cristaloide, variază la coloizi; la coloizii cu care se exemplifică mai jos, acest raport P/C_{mol} variază puțin pentru roșul de Congo, descrește foarte repede pentru dextrină și crește foarte repede pentru hidroxidul de toriu.

Tabelul 25

Variația presiunii osmotice cu concentrația, la cîteva hidrosoluri

Coloidul	Concentrația C_{mol}	Presiunea osmotică P (cm apă)	Raportul P/C_{mol}
Roșu de Congo	1,276	310	243
	2,617	603	230
	5,016	1 139	227
	6,033	1 363	203
Dextrină	0,125	7,8	62
	0,454	14,7	32
	0,674	16,0	24
	1,685	20,3	12
Hidroxid de toriu	0,560	1,3	2,3
	1,750	11,5	6,5
	2,700	24,0	8,8
	4,000	43,0	10,7

Din toate aceste măsurători de presiune osmotică a solurilor rezultă o concluzie importantă, și anume că particulele coloidale au dimensiuni considerabile în raport cu mărimea moleculelor obișnuite.

Filtrarea. Din cauza structurii lor, solurile au însușirea de a filtra în mod deosebit de soluțiile obișnuite.

Filtrele obișnuite de hîrtie, cu porii de 1,5 — 5 μ , nu pot opri particulele coloidale, acestea fiind mult mai mici; de asemenea, nici filtrele de per-

gament (care au porii de aproximativ 1μ), nici filtrele de porțelan poros (cu porii de $0,2\mu$), fiindcă și acestea lasă să treacă împreună, atât mediul de dispersie, cât și faza dispersă. Numai filtrele făcute din plăci de celofan care se așază în pînii speciale, sau filtrele făcute din colodiu, cum se va arăta mai departe, pot servi la filtrarea coloizilor.

Cînd sistemul care trebuie filtrat este polidispers, filtrarea ia caractere deosebite și se numește dializă sau ultrafiltrare.

Dializa. Pentru filtrarea unui sistem polidispers, format dintr-un cristaloid și un coloid dispersate într-un singur lichid, utilizăm membrane care sînt permeabile pentru solvent și pentru moleculele cristaloidizolvate, dar opresc particulele coloidale. Astfel de membrane sînt: bășica de porc, hirtia de pergament, vezica înotoătoare a peștilor, nitratul de celuloză (colodiul) și acetatul de celuloză.

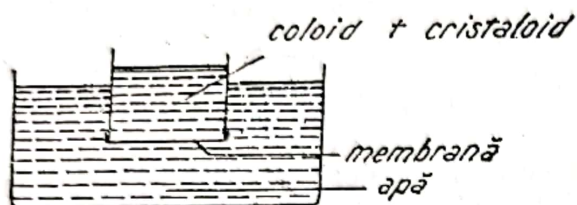


Fig. 178 — Dializor.

Separarea micelilor de moleculele cristaloidizilor, cu care sînt amestecate, se face în mod curent în coloidologie. Un procedeu clasic este următorul: într-un dializor, constituit dintr-un vas cilindric ori tronconic, avînd drept fund o membrană (fig. 178), se introduce un amestec de soluție de zahăr și so-

luție coloidală de clei; dializorul este așezat într-un vas cu apă, astfel ca nivelul apei să fie același cu nivelul conținutului dializorului. Dacă printr-un dispozitiv simplu facem ca apa din vasul exterior să se reînnoiască permanent, se constată că zahărul difuzează prin membrană și este antrenat de apa curgătoare, în timp ce soluția de clei rămîne în dializor. De fapt, folosind ca membrane de dializă membranele de porc, de pește etc., se observă că prin ele trec și unele din particulele coloidale; viteza lor de difuziune este însă foarte mică, așa că toată substanța cristaloidă dizolvată traversează membrana și părăsește astfel dializorul, în timp ce o foarte mică parte a substanței coloidale poate traversa această membrană. Iată cîteva cifre care arată proporțiile în care trec prin dializă, în același timp, substanțe cristaloidale și substanțe coloide (membrana dializorului fiind de pergament): NaCl 200; zahăr 70; dextrină 1,5; tanin 1,0; gumă arabică 0,5; caramel 0,35; albumină 0,20.

În tabelul 26 sînt redate, după lucrările lui Graham, cantitățile de substanță care traversează în 24 de ore o membrană de pergament vegetal la o temperatură de $10-15^\circ$, soluțiile cu care s-a lucrat avînd concentrația de 10%.

Tabelul 26

Cantitatea de substanță care a traversat membrana de pergament vegetal în 24 de ore

Gumă arabică 0,029	Lactoză ..1,287	Zaharoză.... 1,607	Glucoză 2
Manită 2,621	Glicerină ..3,300	Alcool 3,570	Clorură de sodiu 7,5

Încă înainte de cercetările lui Graham, dializa a fost utilizată pentru purificarea melaselor rămase la fabricarea zahărului din sfeclă; metoda mai este folosită și azi în unele fabrici de zahăr. La dializă, sărurile minerale (clorura de potasiu, azotatul de potasiu, precum și sărurile organice) traversează membrana mult mai repede decît zahărul din melasă; melasa este

astfel purificată de substanțele care-i dau gustul displăcut, și devine comestibilă. Dializa mai este folosită la purificarea uleiurilor și grăsimilor de origine vegetală și animală; acestea cuprind aproape totdeauna impurități de natură coloidală, constituite, fie din substanțe străine, fie formate prin polimerizarea moleculelor de grăsimi. Aceste impurități sînt eliminate printr-o dializă făcută într-un solvent convenabil: sulfură de carbon, tetraclorură de carbon, benzen, benzină din care, prin distilare, se pot recupera substanțele dializate.

În laborator, dializa constituie o metodă de purificare a soluțiilor coloidale și o metodă de recunoaștere dacă o substanță este coloidală sau nu. Astfel, experiența arată că proteinele nu dializează, dar substanțele obținute prin hidroliza lor dializează, deci nu se află în stare coloidală.

Dializa are un inconvenient: în timp ce cristaloidale se elimină prin membrană, pătrunde în dializor solventul (de obicei apa) și diluează astfel solul aflat în dializor; aceasta necesită o concentrare ulterioară a solului, fapt care poate duce la alterarea coloidului.

În cercetările clinice se folosește metoda dializei compensate pentru determinarea proporției de NaCl legată de particulele coloidale din serul sanguin. Metoda constă din a dializa serul introducînd dializorul cu ser într-un vas cu o soluție de NaCl de concentrație cunoscută. Dacă concentrația acestei soluții este egală cu concentrația serului în NaCl, dializa nu dă nici un rezultat, fiindcă, deși se produce, este compensată. Pe această cale s-a stabilit că sodiul, potasiul și clorul din serul sanguin nu sînt reținuți de coloizii din sînge, și deci sînt în stare cristaloidă.

Electrodializa. Pentru o purificare mai rapidă a coloidului de soluția cristaloidă, dacă aceasta este o soluție electrolitică, se utilizează o metodă imaginată în 1927, și care întrunește dializa și electroliza: se introduce substanța de dializat într-un tub în formă de U, cu ramurile închise, cu ajutorul unor membrane dializante (fig. 179). Tubul în formă de U se introduce cu ramurile în jos în două vase de electroliză conținînd apă și cite un electrod. Supunînd dispozitivul unui cîmp electric continuu prin legarea celor doi electrozi într-un circuit de curent continuu, produs de un generator care dă o tensiune relativ mică și intensitate de curent mare, ionii cristaloidului trec prin membrana dializantă și migrează spre electrozii de semn contrar, unde se descarcă și se depun, după legile electrolizei. Se reînnoiește frecvent lichidul din jurul electrozilor unde se adună ionii extrași din amestec. Se obține astfel într-un timp mult mai scurt purificarea coloidului din electrodializor. Cu ajutorul electrodializei se pot obține soluri organice de gelatină, agar. Agarul astfel purificat are o reacție puternic acidă. Electrodializa s-a răspîndit foarte mult în lucrările geologice, purificarea făcîndu-se mai repede decît prin dializa obișnuită.

Ultrafiltrarea diferă de dializă prin faptul că se face în aer și nu în solvent sau în lichid intermicelar, așa că nu mai intervine fenomenul de difuziune și de osmoză, ca la dializă. Solul filtrează prin apăsarea propriei sale greutate.

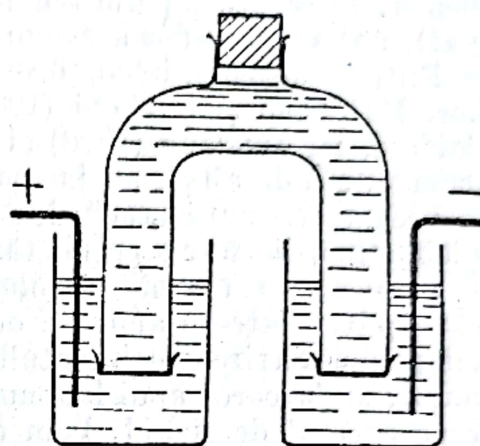


Fig. 179 — Aparat pentru electro-dializă.

De cele mai multe ori se exercită o presiune asupra lui pentru ca expulzarea soluției cristaloide să se facă mai repede. Ultrafiltrarea prin presiune se poate face, nu numai în aer, ci și în solvent sau în lichid intermicelar, fiindcă endosmoza nu mai are loc, din cauza presiunii superioare exercitate asupra lichidului din ultrafiltru. Presiunea se poate exercita și pe cale inversă, adică absorbind cu o pompă lichidul care iese traversind ultrafiltrul.

Prepararea ultrafiltrelor datează din 1896, când Martin a avut ideea de a utiliza filtrarea prin geluri pentru a izola două substanțe, neurotoxina și hemoragina, din veninul anumitor șerpi din Australia. Peretele filtrant a fost constituit dintr-un gel de gelatină sau de silice cu care a îmbibat porii unui cilindru poros de porțelan, folosit pentru filtrarea apei. Astfel fabricat, ultrafiltrul permitea folosirea unor presiuni considerabile (circa 40 at), necesare pentru a asigura ultrafiltrarea.

Filtrele de colodiu au fost folosite mai întâi pentru filtrarea microbilor. Malfitano și Bechold (1907) le-au extins la ultrafiltrarea soluțiilor coloidale, iar Duclaux (1908) și Dumanski (1908), în același timp și independent unul de altul, au introdus în dializă sacii de colodiu.

Prepararea unui „sac” de colodiu se face, fie într-un balon obișnuit de laborator, fie într-o eprubetă mare, spălate bine și uscate. Într-un astfel de recipient se toarnă o soluție oficială de colodiu (nitrat de celuloză dizolvat într-un amestec de alcool și eter), în cantitate astfel aleasă încât prin învîrtirea recipientului să se poată uda bine pereții și gitul balonului; se întoarce apoi balonul sau eprubeta cu gura în jos, pentru a se scurge excesul de lichid. Prin evaporarea alcoolului și a eterului rămîne pe partea interioară a peretelui vasului o peliculă de colodiu care are forma vasului. Se desface pelicula de gura vasului, și între peliculă și vas se toarnă apă cu ajutorul unei pipete; apa desparte pelicula de colodiu de peretele vasului. Pelicula poate fi astfel scoasă din vas ca un săculeț.

O altă tehnică recomandă înmuierea unei eprubete mari în colodiu și uscarea peliculei formate pe eprubetă; apoi se face o a doua înmuiere și chiar o a treia. După uscare, săculețul de colodiu se scoate de pe eprubetă (cum se scoate un deget de cauciuc de pe deget) și se păstrează în apă. Mărind numărul de straturi și concentrația soluției de colodiu se obțin săculețe de colodiu cu pori foarte mici. Ultrafiltrele de porozitate diferită servesc la separarea solurilor după gradul de dispersie. Oricare ar fi tehnica de preparare, pentru a folosi ultrafiltrul de colodiu se introduce în gura lui un dop străbătut de un tub de sticlă de dimensiunea corespunzătoare, deschis la ambele capete, și se leagă după ce s-a interpus între săculeț și firul de legat o fișie de hîrtie.

În general, folosind ultrafiltrarea, se poate concentra un sol și avea o noțiune despre lichidul intermicelar, iar pe de altă parte se poate spăla solul pe ultrafiltru, purificîndu-l.

În biologie, ultrafiltrele sînt mult întrebuintate.

Viscozitatea solurilor. La soluțiile adevărate, viscozitatea este — în general — mai mare decît cea a solventului; excepție fac unele soluții de săruri de amoniu, de potasiu etc. La soluțiile coloidale, viscozitatea crește cu mărirea concentrației fazei disperse.

S-a văzut la studiul viscozității singelui că, pentru particulele sferice, nedeformabile, Einstein a dat o formulă care reprezintă relația dintre coeficientul de viscozitate η al solului, coeficientul de viscozitate η_0 al mediului și volumul Φ al fazei dispersate:

$$\eta = \eta_0 (1 + 2,5\Phi).$$

Această formulă se poate întrebuința numai la concentrații mici, cînd particulele nu se influențează reciproc, și numai în cazul unei curgeri laminare a solului. Potrivit acestei relații, valoarea viscozității unui sol nu depinde de dimensiunile particulelor; faptul a fost confirmat de experiențe făcute asupra unor suspensii de cauciuc cu particule sferice avînd diametrul de 0,3 — 0,4 μ și altele. O altă serie de cercetări au arătat că raportul dintre η și η_0 depinde net de gradul de dispersie al solului. Astfel, Sv. Oden a arătat că solurile de sulf, avînd particulele cu raza de 10 $m\mu$, au o frecare interioară mai mare decît cele cu raza de 100 $m\mu$, și a explicat abaterea prin formarea pe suprafața particulelor a unui înveliș apos, rezistent, care se mișcă solidar cu particulele. Dimensiunile acestui înveliș sînt relativ mari pentru particulele mai mici decît pentru cele mai mari. Cercetînd frecarea internă, Dumanski (1911), Kruyt (1922) și alții au ajuns la concluzia existenței unui înveliș sferic de lichid (mediu de dispersie), numit liosferă, și legat solidar de particula dispersată. Pentru acest sistem, Duclaux a propus numele de *micelă*.

După substanța dispersată și mediul de dispersie, liosfera are diferite dimensiuni și rezistențe. Dacă forțele de atracție sînt mari, liosfera este stabilă și are dimensiuni considerabile. Sistemul se numește liofil. Astfel, particulele de hidrosol de hidrat feric sînt mai liofile decît cele de sulfură de arsen. S-a mai stabilit că particulele formate din molecule polare sînt liofile față de lichide polare. După această teorie, formula lui Einstein capătă forma următoare:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = 1 + 2,5 (\Phi_0 + \nu),$$

unde ν este volumul liosferei.

O asemenea legare a lichidului de particulă se numește *solvatare*. Frecarea internă a lichidelor, fie pure, fie soluții, scade cu ridicarea temperaturii; la soluri, scăderea este aproape aceeași ca la mediul de dispersie respectiv.

Asupra viscozității solurilor mai influențează și forma particulei, îmbătrînirea sistemelor coloidale (cînd particulele trec din starea amorfă în stare cristalină, ceea ce influențează solvatarea), gruparea particulelor primare în particule secundare mai mari etc.

e) **Însușirile optice ale solurilor.** Solurile prezintă proprietăți optice caracteristice, care permit studiul și recunoașterea lor. Dintre aceste fenomene vom studia efectul Tyndall, ultramicroscopia, electronmicroscopia coloizilor, polarizarea luminii.

Efectul Tyndall. Dacă o rază de lumină trece printr-o suspensie fină, deci printr-un sistem dispers, cu particulele mai mari decît cele coloidale, și dacă există o diferență între indicele de refracție al mediului și cel al fazei disperse, are loc o difuzare laterală a luminii, și fasciculul de lumină care trece prin sistem se poate vedea sub forma unei benzi opalescente, în care de multe ori se poate distinge chiar fiecare particulă în parte. Măriindu-se gradul de dispersie, difuzia luminii crește, atinge un maximum la sistemele coloidale și începe să cadă apoi la o valoare foarte mică, cînd sistemul este o soluție adevărată. În acest din urmă caz, sistemul se numește optic vid.

Dacă particulele sînt mai mari decît lungimea de undă a luminii, are loc o difuzare a luminii datorită refracției și reflecției, cum și reflecției totale a luminii de către particule.

Dacă particulele dispersate sînt mai mici decît lungimea de undă a luminii, nu mai au loc reflecția și refracția, ci fenomenul de difuzie. Difuzia luminii are în acest caz un aspect caracteristic și poartă numele de fenomenul sau efectul Tyndall (după numele fizicianului Tyndall care l-a studiat experimental în 1869). Fenomenul a fost observat pentru prima oară de Faraday, iar teoria a fost expusă mai tîrziu de Rayleigh.

Fenomenul Tyndall se observă mai ușor în modul următor: se toarnă într-un vas de formă paralelipipedică apă distilată și filtrată pentru a fi lipsită cu totul de pulberi. În camera de lucru se face întuneric, și pe fața acestui vas se trimite printr-un condensator (lentilă convergentă) un fascicul puternic de lumină de la o lampă cu arc sau cu incandescență. Tre-

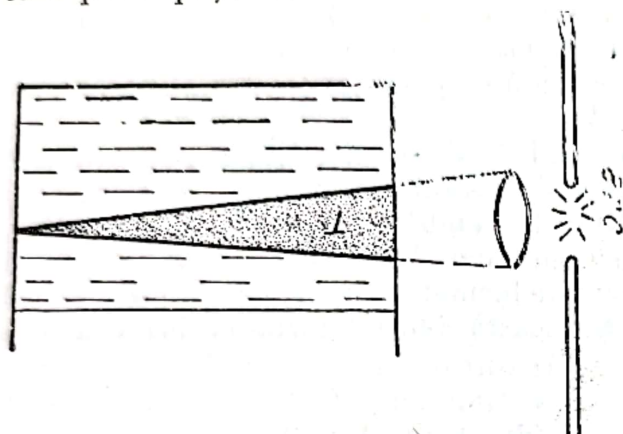


Fig. 180 — Fenomenul Tyndall.

cînd prin apă, fasciculul de lumină nu dă o bandă sau un con de lumină: mediul este optic vid. Dacă turnăm în această apă un sol oarecare, fasciculul de lumină (fig. 180) va deveni vizibil; vom avea un con luminos (conul lui Tyndall). Această lumină este de culoare albastruie și este mai bogată în radiații de lungime de undă mai mică decît cele ale sursei cu care se luminează solul.

Teoria dată de Rayleigh, în baza studiului cantitativ al fenomenului, făcut de Tyndall, arată că, dacă lumina incidentă este albă, în fasciculul de lumină

dispersată se vor găsi mai cu seamă radiații cu lungimi de undă mai mici, și anume în raport invers cu λ^4 . De aceea, conul lui Tyndall la solurile incolore are o colorație albastruie, iar lumina care străbate solul are o colorație galbenă-roșiatică dacă stratul de soluție coloidală este destul de gros. Dacă efectul Tyndall este produs în lumină monocromatică, lumina difuzată are aceeași lungime de undă ca și lumina incidentă. Fenomenul Tyndall observat la coloizi se deosebește de cel care se produce la soluții fluorescente, la care lungimea de undă a luminii difuzate este totdeauna mai mare decît cea a luminii incidente. În afară de aceasta trebuie observat că efectul Tyndall este cu atît mai intens cu cît diferența dintre indicii de refracție n_1 și n_2 ai mediului și fazei disperse este mai mare. Astfel, în aceleași condiții de concentrație și grad de dispersie, la solul de albumină, efectul Tyndall este mult mai mic decît la cel de sulfură de arsen, fiindcă indicii apei și albuminei sînt apropiați pe cînd la solul de As_2S_3 diferența indicilor este mai accentuată.

Aceasta explică de ce, în general, hidrosolii neorganici dau un efect Tyndall mai accentuat, pe cînd la combinațiile organice cu același grad de dispersie efectul este mai puțin evident.

Ultramicroscopia, una din cele mai apreciate metode optice de cercetare, a fost adusă la viață de dezvoltarea studiului coloizilor. Această metodă optică permite examinarea indirectă a particulelor dispersate ceva mai mari decît moleculele și observarea mișcării lor browniene cauzată de energia cinetică a moleculelor mediului de dispersie. Particulele solului, luminate puternic în direcția perpendiculară pe axul optic al microscopului, prezintă fenomenul Tyndall, fiecare particulă devenind un centru luminos.

Cu ajutorul acestei metode de examinare ultramicroscopică se poate determina mărimea particulelor coloidale și îndeosebi forma lor. În adevăr, dacă lumina difuzată de o particulă în mișcare browniană apare o dată de formă circulară și altă dată de formă elipsoidală, se poate deduce că particula este de forma unui elipsoid de revoluție. Sînt particule care difuzează lumina o dată sub forma unui dreptunghi mai mare, altă dată ca un dreptunghi mai mic și altă dată ca un dreptunghi și mai mic; aceste particule au deci forma de paralelipiped, adică o formă lamelară. Pe această cale s-a arătat că particulele coloidale de aur și argint au în general o formă rotundă, pe cînd solii de acid vanadic au formă de bastonașe sau de lamele.

Coloizii organici nu sînt, în general, vizibili la ultramicroscop, deoarece mizelele lor au indicii de refracție apropiat de cel al apei.

Microscopia electronică. Inventarea microscopului electronic a permis o pătrundere și mai adîncă în lumea moleculelor și chiar observarea configurației anumitor molecule mari și unor mizele coloidale. Cu aceste microscopie, al căror principiu va fi descris în capitolul despre fizica atomului, se obțin mărimi de pînă la 100 000 de ori.

S-au obținut fotografii mărite de 95 000 de ori ale unui sol de argint ale cărui particule au mărimea de 15—30 mμ.

La studiul substanțelor macromoleculare, se pot observa și moleculele separate. De exemplu, la examinarea cauciucului s-au observat (1944) fire lungi noduroase; de asemenea s-a observat că moleculele lungi formează rețele foarte ramificate, cu ochiuri încîlcite. Aceasta confirmă presupunerea privitoare la structura filiformă a moleculelor unor substanțe cu mare grad de polimerizare. S-au realizat și imagini privind alte substanțe coloidale, cum sînt albuminele etc.

Röntgenografia dă indicații mai precise asupra mizelelor și macromoleculelor care formează faza dispersă într-un sistem coloidal. Metoda folosită la studiul rețelelor cristaline, și care va fi descrisă în capitolul despre spectrografie prin raze Röntgen, a fost aplicată de Scherer și Debye, în 1916, la pulberile cristaline și apoi la pulberile coloidale: asupra coloidului în stare de pulbere sau de sol concentrat, introdus într-un cilindru, se proiectează un fascicul monocromatic de raze Röntgen. Studiindu-se cu această metodă mulți coloizi, structura lor a fost găsită ca fiind cristalină, analogă cu structura unei bucăți solide din aceeași substanță: de exemplu, particulele dintr-un sol de aur sînt cristaline și fac parte din sistemul cubic, la fel ca și aurul metalic, și sînt compuse din cel mult 5 atomi de aur. La fel, sînt compuse din particule cristaline și solurile de argint, cupru, bismut etc.

Claritatea benzilor spectrului Röntgen depinde de mărimea cristalelor, cele foarte mici dînd benzi șterse, iar cele mai mari benzi nete; intensitatea röntgenogramei este cu atît mai mare cu cît numărul de ordine Z al elementului din care este compusă particula este mai mare; de aceea, pentru studiul sistemelor în care dispersoidul este un compus organic, la care atomii au numărul Z mic ($C = 6$; $O = 8$) sînt necesare concentrații pînă la 50%, în timp ce, pentru solul de clorură de argint (numărul atomic al argintului = 47), de sulfură de mercur (numărul atomic al mercurului = 80) este necesară o concentrație foarte mică pentru obținerea unor efecte apreciabile.

Determinarea pe această cale a structurii cristaline a solurilor arată o dată în plus că nu se poate face nici o deosebire între substanțele cristaline și sistemele coloidale în ceea ce privește posibilitatea de cristalizare.

Polarizarea luminii. Particulele anizotrope dispersate coloidal au însușirea de a polariza lumina. Se poate demonstra aceasta trecînd un puternic

fascicul luminos printr-un nicol sau un cristal de turmalină care are rol de polarizor (fenomenul va fi tratat în amănunțime în capitolul „Optica”) și primind apoi fasciculul într-un vas paralelipipedic cu soluție coloidală. Dând o rotire nicolului se observă că fișia de lumină difuzată de sol nu mai are formă de con, ca în cazul fenomenului Tyndall, ci de bandă lată și subțire, care se rotește după cum rotim polarizorul. Dacă privim perpendicular pe una din fețele laterale ale vasului și vedem fasciculul de lumină în lățime, la învîrtirea de 90° lumina va dispărea. În același timp, însă, ea apare într-o direcție perpendiculară dacă privim de sus în jos în vasul cu soluție coloidală. Se poate pune în evidență faptul că prin difuziune se produce lumina parțial polarizată, dacă se experimentează cu lumină naturală, iar lumina difuzată de sol se analizează cu ajutorul unui nicol; se constată astfel că gradul de polarizare este același în orice direcție perpendiculară pe axa fasciculului și depinde de mărimea particulelor dispersate; solurile și suspensiile polarizează cu atât mai mult lumina difuzată, cu cît sînt mai puternic dispersate, fără a se ajunge însă la lumina total polarizată. Experiența arată că, în același timp, primind fasciculul polarizat de cristalul de turmalină, prin solul din vas, pe un ecran, lumina prezintă în toate cazurile de rotire a cristalului aceeași intensitate.

Solul coloidal se deosebește de o soluție fluorescentă care dă conul Tyndall, dar fără fenomenele de polarizare a luminii.

Colorația solurilor. Solurile aceleiași substanțe au de multe ori culori diferite. Astfel, hidrosolurile de aur, puternic dispersate, care se compun din particule ce cuprind 4—5 atomi, au culoarea roșie-rubinie, iar cele formate din particule mai mari au o colorație violetă sau indigo. Solurile puternic dispersate de sulf sînt de asemenea de culoare indigo. Solurile de argint au culoarea roșie sau verde. Intensitatea colorației solurilor este foarte mare și întrece adesea intensitatea colorației coloranților cristalini. Toate acestea arată că, atât colorația solului, cît și intensitatea colorației nu sînt caracteristice pentru substanța dispersată, ci depind de gradul ei de dispersie. Numeroasele experiențe făcute au dus la concluzia următoare: colorația solului se datorește absorbției luminii, care este în funcție de diferite valori, printre care și gradul de dispersie al substanței coloidale.

f) Însușirile electrice ale coloizilor. Pentru a putea lămuri fenomenele electrice pe care le prezintă coloizii și metodele bazate pe însușirile lor electrice trebuie să arătăm dintru început că prin introducerea unui metal în soluția unei sări a acestui metal se produce, la contactul metalului cu lichidul, o diferență de potențial. În soluția de electrolit, atomii, trecînd în stare de ioni, capătă o sarcină pozitivă și se așază sub formă de strat lângă suprafața metalului care rămîne încărcată negativ. Se obține astfel un dublu strat electric, de echilibru, de tip condensator, numit dublul strat electric al lui Helmholtz (fig. 181).

Suprafața încărcată a metalului micșorează tensiunea sa superficială, ceea ce se observă ușor la mercurul dintr-un capilar: mercurul se urcă în capilar din cauza micșorării tensiunii superficiale. Construcția electrometrului capilar al lui Lippmann, folosit în laborator și descris în capitolul „Electricitatea”, este bazată pe acest fenomen.

Electroosmoza. La limita fazelor solid-lichid există deci o diferență de potențial, suprafața unei faze fiind încărcată pozitiv și a celeilalte negativ; sarcina fazei solide este legată puternic, pe cînd cea a mediului de dispersie se poate deplasa o dată cu lichidul într-un câmp electric dacă se introduce în lichid doi electrozi conectați într-un circuit de curent continuu.

Fenomenul se poate pune în evidență (fig.182) utilizând un vas de argilă poroasă umplut cu apă care conține foarte puțin electrolit și astupat cu un dop de plută prin care trece, pe de o parte, electrodul negativ, iar pe de altă parte, un tub manometric de sticlă. Vasul de argilă poroasă astfel pregătit se introduce într-un alt vas care conține de asemenea apă plus electrolit, și în care se află electrodul pozitiv al unui circuit de curent continuu. Se observă că stratul de apă, încărcat, pozitiv, se deplasează prin porii vasului de argilă spre interior spre electrodul negativ și lichidul din vasul poros se ridică în tub. Acest fenomen de producere a presiunii prin trecerea curentului în prezența unei diafragme — în acest caz, peretele de argilă poroasă — poartă numele de *electroosmoză*. Fenomenul a fost observat pentru prima oară în 1807 de Reiss la Moscova; a fost cercetat între alții și de Helmholtz (1879), dublul strat electric produs primind, după cum am arătat, numele acestuia. Legile cantitative au fost date de Lamb, Smoluchovski, Perrin ș.a., în 1903 și 1904.

Folosită în prezent în industrie și în laborator, electroosmoza poate servi și la epurarea apei de mici cantități de electrolit nedorit (I.I. Iukov).

Electroforeza. Stabilind un câmp electric într-o soluție coloidală prin introducerea a doi electrozi de platină aflați la un potențial diferit, se constată că particulele coloidale se deplasează. Astfel, într-un tub în formă de U (fig. 183) se introduce un sol, de preferință colorat, de pildă hidrosolul de hidroxid feric, în fiecare din ramurile

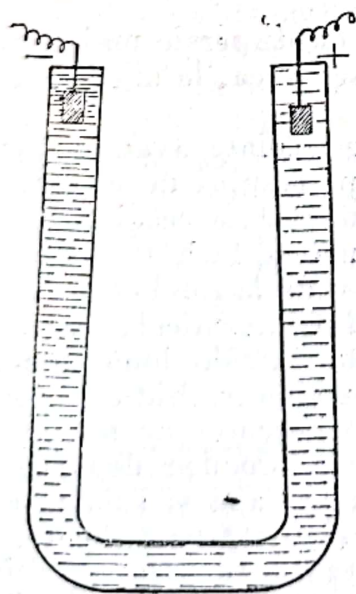


Fig. 183 — Tub U pentru electroforeză.

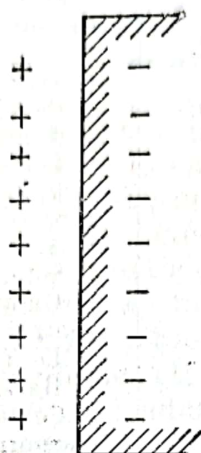


Fig. 181 — Dublul strat electric al lui Helmholtz.

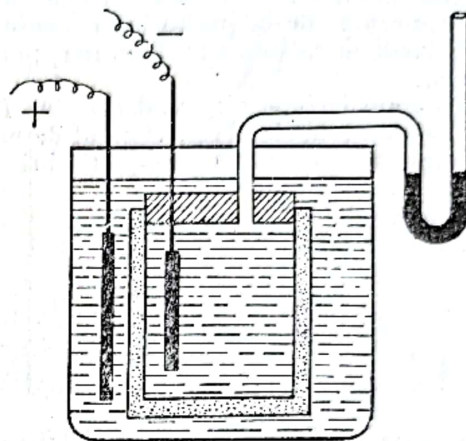


Fig. 182 — Aparat pentru electroosmoză.

aparaturii aflându-se câte un electrod de platină. Se închide circuitul de curent continuu (100—500 V). Se poate urmări ușor deplasarea micelilor de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ spre catod. La alți coloizi, micellele se îndreaptă spre anod. Această migrație se numește electroforeză.

Deplasarea micelilor spre unul din electrozi arată că ele poartă o sarcină electrică de anumit semn. La anumiți soli, micellele se deplasează spre anod fiindcă au o sarcină electrică negativă; dacă se duc spre catod au o sarcină electrică pozitivă. Fenomenul a fost descoperit de Linder și Picton la 1893 și, întrucât cele mai multe micelle studiate pe atunci se deplasau spre catod, fenomenul a fost numit la început *cataforeză*. Astăzi, fenomenul se numește electroforeză, deplasarea spre catod numindu-se *cataforeză*, iar cea spre anod, *anaforeză*.

În tabelul următor se arată sarcinile electrice ale citorva din coloizii mai cunoscuți.

Tabelul 27

Sarcina electrică a citorva coloizi

Coloizi pozitivi (migrează la catod)	Coloizi negativi (migrează la anod)
Hidroxizii de fier, de crom, de cupru, de aluminiu, de ceriu, toriu, zirconiu. Solurile metalice de bismut, fier, plumb, cupru. Coloranții sintetici: violetul lui Hoffmann, roșul de Magdala, violetul de metil, clorura de rozanilină, cafeiniul lui Bismark, albastrul de metilen. Hemoglobina. Acidul titanic.	Sulfurile de arsen, de antimoniu, de cadmiu, cupru, de plumb. Solurile metalice de platină, aur, argint, mercur. Pentoxidul de vanadiu. Acidul stanic și acidul silicic. Coloranții sintetici: albastrul de molibden, indigoul, albastrul de Prusia, fucsina, albastrul de wolfram, albastrul de anilină. Solurile de iod, sulf, seleniu. Gumilac, rășini, amidon, mastic, caramel, cauciuc. Lecitină, clorofilă. Halogenurile de argint. Coloranții acizi, roșul de Congo, benzo-purpurina.

O analiză mai amănunțită a fenomenului de migrație arată că, dacă solurile sînt alcătuite din particule în formă de bastonașe, la electroforeză se produce nu numai deplasarea particulelor, ci, în prealabil, și orientarea lor în cîmpul electric. Fig. 184 arată cum la început particula cu dublul ei strat electric se află într-o poziție oarecare, înainte de trecerea curentului electric. În fig. 185 se arată deplasarea stratului ionic pozitiv de pe particulă, din care cauză particula devine un dipol și începe să se orienteze în cîmpul electric spre cei doi electrozi; în fig. 186 este arătată deplasarea particulei negative spre anod, iar ionii de lichid migrează la catod.

Electroforeza se produce și la sisteme cu grad de dispersie mai mare, cum sînt suspensiile de mastic, argilă, caolin; de asemenea, la unele emulsii cu particulă foarte mică.

În prezent se întrebuintează un dispozitiv care prezintă avantaje pentru urmărirea deplasării particulelor în decursul procesului de electroforeză. Tubul *U* are cîte un robinet la fiecare din ramuri, la aceeași distanță de fund. După ce se umple tubul cu solul de examinat, se închid robinetele și se elimină excesul de sol. Se spală partea ramurilor de la robinete în sus, și se umple cu apă distilată sau, mai bine, cu lichidul intermicelar obținut de la o ultrafiltrare a solului respectiv. Se introduce în cele două ramuri electrozii conectați într-un circuit de curent continuu și se deschid cele două robinete. Sub influența diferenței de potențial stabilită între electrozi, se produce deplasarea suprafeței de separație între apă și soluția coloidală, ușor de urmărit și de măsurat. Pentru a determina cu precizie viteza de deplasare, diferența de potențial aplicată trebuie să aibă tot timpul o valoare constantă. Măsurînd deplasarea *h*, cum și timpul *t* în care s-a produs această

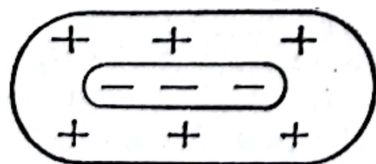


Fig. 184 — Particulă neorientată.

deplasare, se obține viteza de deplasare, care este raportul dinter h și t :

$$v = \frac{h}{t}.$$

Experiența și calculele arată că viteza de migrație electroforetică a particulelor nu depinde de mărimea lor. Se mai poate măsura viteza urmărind direct, la ultramicroscop, mișcarea unei particule izolate care se deplasează în câmpul electric. Pentru aceasta, trebuie ca particulele să fie vizibile la ultramicroscop și apoi ca numărul lor să nu fie prea mare în câmpul microscopului, pentru a se putea repera cu ușurință una din ele. Determinarea ultramicroscopică a vitezei cere examinarea unui mare număr de particule și efectuarea mediei aritmetice a determinărilor. Lichidul intermicelar folosit la electroforeză se numește lichid-tampon.

Aparatul în U cu care se lucrează a fost introdus de Walter Nernst. Principiul acestui aparat stă la baza aparatelor moderne de azi, prin care se aplică metode ce au luat o mare extindere, și care au un rol de bază în studiile de biochimie, biologie, fiziopatologie, endocrinologie etc. Perfecționările considerabile ce i s-au adus îi permit să corespundă azi numeroaselor exigențe în ce privește măsurători cantitative extrem de precise ale substanțelor deplasate spre electrozi.

Un aparat de electroforeză pentru analize a fost propus încă din 1906. În prezent sînt în funcție o serie de aparate de tip Michaelis (1908), Svedberg (1919), Kruyt (1923) etc.

A. Tiselius a construit un aparat perfecționat și complex (1930—1938) care permite să se separe prin electroforeză amestecurile naturale de proteine din serul sanguin și să se efectueze astfel fracționarea fizică a albuminelor, globulinelor, fibrinogenului, ceea ce pe cale chimică se obține mai greu și nu cu atîta precizie. Viteza diferită a diverselor particule permite trecerea lor pe rînd spre electrodul respectiv; observarea trecerii de la o fracțiune la alta se face pe baza diferenței de indice de refracție.

A. Toepler 'a expus „metoda vălurilor“, care constă în observarea fenomenelor de răsturnare a imaginii în straturi de lichid (de densitate diferită și indice de refracție diferit) aflate în mișcare, întocmai cum se întîmplă la fenomenul numit „fata morgana“, observat în atmosferă, pe cîmpii încălzite sau pe mări încălzite.

Pe baza acestei metode de observare, A. Tiselius, O. Lamm, G. Longworth, J. Philpot și H. Svensson au pus la punct metode și procedee optice extrem de sensibile pentru examinarea și fotografierea pe un film a fenomenului dinamic de migrație diferențială a fracțiunilor de albumine prin electroforeză. M. Macheboeuf (1942) și S. E. Bresler și P. A. Finoghenov (1950) au pus de asemenea la punct metode de electroforeză a albuminelor. La plasma umană, unul din rolurile principale ale analizei electroforetice constă în a arăta modificările patologice importante ale mobilității și

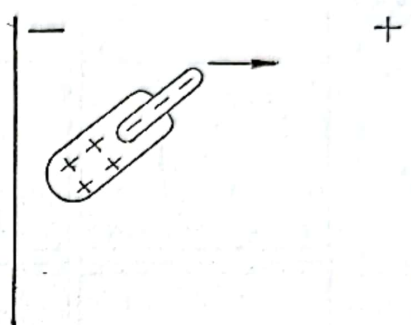


Fig. 185 — Particulă orientată în câmpul electric creat de electrozi.

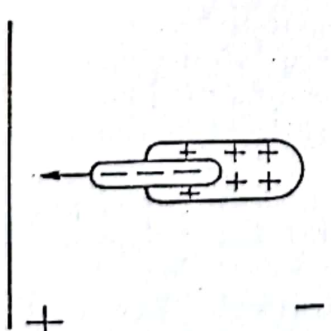


Fig. 186 — Migrația particulei în electroforeză.

ale repartiției relative ale proteinelor plasmatice și a așeza pe baze solide studiul comparativ al acestor fenomene.

În fig. 187 redăm, după E. Wiedemann, fotografia pe film a migrației și separării progresive a diferitelor componente ale plasmei umane. Cele două curbe de la început, foarte nete, se transformă treptat sub influența cîmpului electric. În dreapta sînt fotografiile luate în ramura în care albuminele urcă treptat, iar în stînga în cea unde ele coboară.

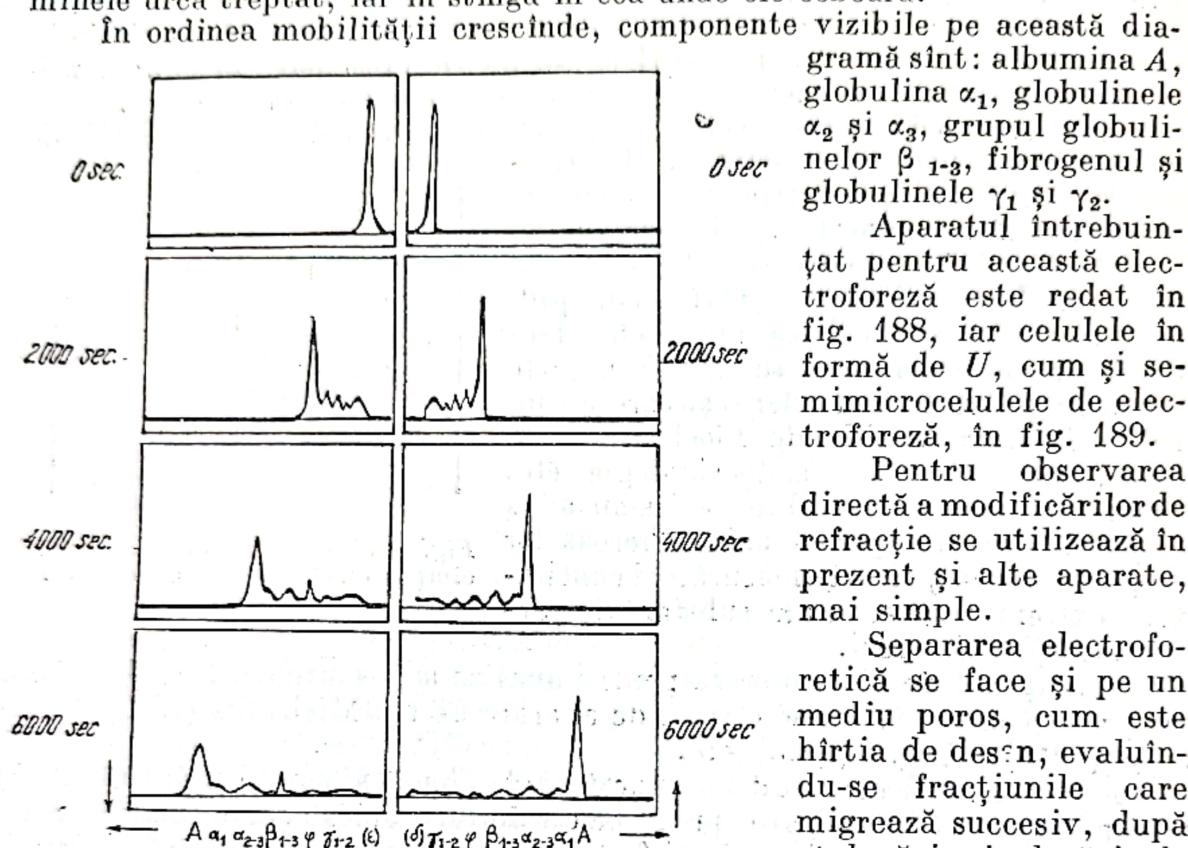


Fig. 187 — Migrația și separarea progresivă în cursul electroforezei plasmei umane (Wiedemann).

electroforeza unei proteine într-un lichid de reacție puternic acidă, micellele capătă sarcină pozitivă și deci migrează spre catod. Dacă micșorăm aciditatea mediului de dispersie, micela își micșorează sarcina pozitivă pînă cînd, pentru o anumită reacție a mediului, sarcina sa electrică se anulează și electroforeza încetează. Dacă micșorăm și mai mult aciditatea mediului prin adăugare de substanțe alcaline, micela devine negativă și migrează spre celălalt electrod, spre anod.

Stadiul de neutralitate electrică care produce oprirea electroforezei, adică reacția (pH-ul) mediului la care micela nu mai are sarcină electrică, se numește *punct izoelectric*. Solurile care pot migra spre ambii electrozi, după sarcinile pe care le poartă pe rînd, din cauza reacției mediului, se numesc amfolite.

La punctul izoelectric, însușirile fizice ale coloizilor au valori particulare: presiunea osmotică, conductibilitatea, stabilitatea, vîscozitatea etc. au valoarea minimă la punctul izoelectric.

În serul uman, Vlès și Coulon au găsit trei puncte izoelectrice, dintre care cel mai constant este vecin cu aciditatea mediului $\text{pH} = 5,5$. Acest punct izoelectric este fix la bărbatul normal și variază la femeie, după cum

diagramă sînt: albumina A, globulina α_1 , globulinele α_2 și α_3 , grupul globulinelor β_{1-3} , fibrogenul și globulinele γ_1 și γ_2 .

Aparatul întrebunțat pentru această electroforeză este redat în fig. 188, iar celulele în formă de U, cum și semimicrocelulele de electroforeză, în fig. 189.

Pentru observarea directă a modificărilor de refracție se utilizează în prezent și alte aparate, mai simple.

Separarea electroforetică se face și pe un mediu poros, cum este hîrtia de desen, evaluîndu-se fracțiunile care migrează succesiv, după etalonări și dozări de laborator.

Trebuie să mai adăugăm că, dacă facem

Fig. 188— Aparat pentru electroforeză biologică (după Wiedemann, 1946).

este sau nu în stare de gestație; în infecțiile acute, cancer, și chiar în sifilis, acest punct izoelectric se ridică deasupra valorii normale.

g) Stabilitatea coloizilor. Una din problemele coloidologiei, cu contingente în studiile caracterelor fizice ale coloizilor, este și stabilitatea sistemelor coloidale.

Într-un sol, micellele sau macromoleculele dispersate având aceeași sarcină electrică se resping; particulele nu se unesc, și dispersia coloidală rămâne ca atare. Numai micșorând sarcinile electrice, particulele se vor respinge cu o forță electrostatică mai mică, până ce va intra în joc forța antagonistă, coeziunea. În acest caz, micellele se apropie, se adună în fulgișori mai mari și cad la fundul solului. Fenomenul este cunoscut sub numele de coagulare sau floculare.

Flocularea nu are nimic comun cu precipitarea chimică. Ea se poate face prin coloizi de semn contrar, care, descărcînd particulele solului, produc flocularea. Astfel, argintul coloidal se strînge în fulgi dacă este amestecat cu un alt coloid de semn contrar, cum este hidrosolul de hidroxid feric. În general, fenomenele care micșorează valoarea potențialului particulei duc la micșorarea forțelor electrice de respingere, care împiedică contopirea particulelor și măresc posibilitatea de coagulare. În punctul izoelectric, sarcina particulei fiind egală cu zero; fiecare ciocnire va duce la contopirea particulelor, deci la coagulare. De aci rezultă evident că la soluri coagularea se produce mai repede în punctul lor izoelectric.

Relevăm influența valenței ionului coagulant asupra decurgerii fenomenului. Influența valenței a fost observată încă din 1882 de Schulze. Regula lui Schulze-Hardy arată că fenomenul de coagulare este cu atît

mai puternic cu cît ionul coagulant are sarcina electrică mai mare, adică are valența mai mare. Astfel, experiența arată că un litru de sol de As_2S_3 este coagulat în 2 ore de 55 milimoli de KCl, de 0,681 milimoli de $BaCl_2$, de 0,093 milimoli de $AlCl_3$.

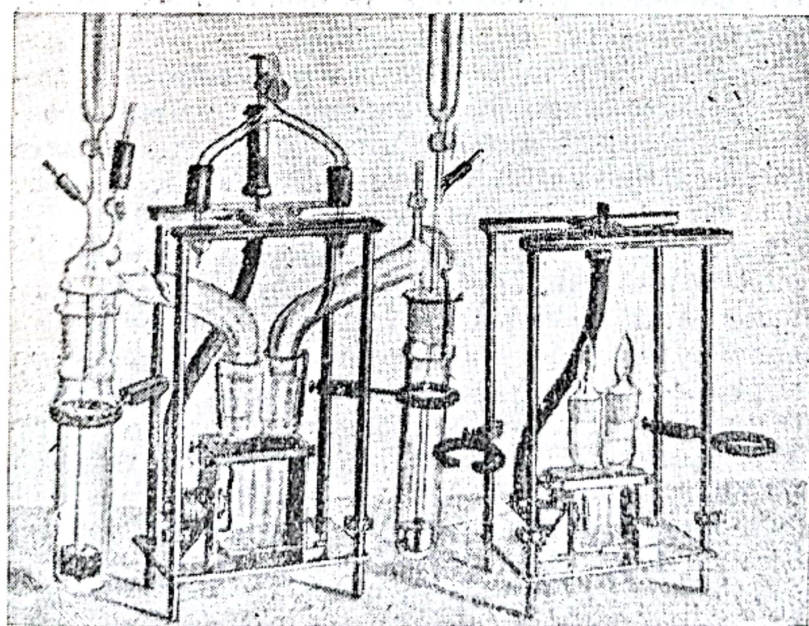


Fig. 189—Celule de electroforeză (stînga); hemimicrocelule (dreapta) (Wiedemann).

Trebuie să arătăm aici că sistemele macrodisperse, cum sînt suspensiile și emulsiile, se supun și ele regulii lui Schulze-Hardy. Coagularea este astfel folosită la epurarea apelor de riuri de cîmpie, care au în suspensie argilă și nisip. Aceste suspensii, precum și numeroase particule coloidale, de obicei încărcate negativ, sînt coagulate și sedimentate cu ajutorul unei mici cantități de ioni de aluminiu (Al^{+++}) introduși în apa respectivă sub formă de sare de aluminiu (sulfat dublu de aluminiu și potasiu, alaun) sau ioni de fier (Fe^{+++}), introduși sub formă de sulfat feric. Coagularea și depunerea parțială a suspensiei limpezesc în bună parte apa, care poate fi apoi trecută prin filtre și folosită, fie ca apă potabilă, fie ca apă industrială. Același fenomen stă la baza depunerii mlului adus de fluvii în mare și a formării deltelor; ionii coagulanți sînt cei din apa mării ($NaCl$, $MgCl_2$ etc).

Numeroși alți factori favorizează coagularea unui sol. Cercetările lui N. P. Peskov (1923) și ale altora au arătat influența iradierii cu lumină vizibilă în coagularea solurilor. Astfel, hidrosolurile de $Sn(OH)_4$, $Al(OH)_3$, $Th(OH)$ și HgS se coagulează mai ușor cu ionii mono- și bivalenți la iluminarea cu lumina solară sau cu o lampă electrică de 1 000 W, cu filament de wolfram, decît solurile neiluminate. Hidrosolurile de Sb_2S_3 , As_2S_3 nu-și modifică stabilitatea la o iluminare scurtă și se coagulează în urma unei iluminări mai îndelungate.

Acționînd asupra particulelor coloidale, lumina ultravioletă ar trebui, prin înlesnirea eliberării de electroni, să încarce particula pozitiv și să producă coagularea solurilor electronegative; totuși, ea coagulează și solurile electropozitive; faptul este în legătură cu reacțiile chimice care se produc la iradierea cu raze ultraviolete (Galecki și Spichalski, 1920). S-a observat de asemenea că la o iradiere a hidrosolului de argint se produce decolorarea lui cu formare de ioni de Ag^+ . La o iradiere ulterioară, argintul se reduce din nou în Ag metalic și se obține un sol colorat.

A fost cercetată și acțiunea razele Röntgen asupra coagulării coloizilor, și s-a constatat că, atît solurile electronegative, cît și cele electropozitive, se coagulează sub acțiunea acestor raze; sub acțiunea razelor Röntgen se produc însă modificări chimice, datorită cărora variază stabilitatea sistemului.

Prin iradiere cu raze β ale substanțelor radioactive se coagulează hidrosolurile electropozitive, prin descărcarea micelilor, în urma ionizării soluției iradiate. Solurile încărcate negativ nu se modifică.

S-a observat coagularea solurilor prin descărcarea pe electrozi la trecerea curentului electric. Solurile se coagulează pe electrodul de semn contrar, formînd un precipitat pulverulent sau în formă de gel. Coagularea s-a observat și la acțiunea curenților de înaltă frecvență; astfel, solul de sulfură de arsen a coagulat la curentul de înaltă frecvență cu $\lambda=180$ m.

Ultrasunetele pot de asemenea coagula hidrosolurile. Fenomenul de coagulare se produce în mod deosebit de eficace la aerosoluri, unde aplicarea iradierii cu ultrasunete poate servi pentru scopuri practice.

Coagularea este un fenomen pur fizic, în timp ce precipitarea are un caracter chimic. Ele diferă printr-o serie de însușiri caracteristice: separarea unei substanțe solide dintr-un sol este de obicei completă, în timp ce precipitarea unui cristaloid este totdeauna parțială. Solul poate flocula chiar dacă este foarte diluat, pe cînd precipitarea se face numai la o anumită concentrație. Agentul care separă sub formă de fulgi substanța de mediul de dispersie nu este specific: un mare număr de substanțe cu totul diferite între ele pot coagula un coloid. Cantitatea de substanță care poate separa

particulele coloidale din sol este uneori infimă; ea nu are legături stoechiometrice cu substanța care a fost separată, ca în fenomenul chimic.

Coloizi de protecție. Stabilitatea coloidului nu depinde numai de sarcina electrică, ci și de prezența altor substanțe coloide sau cristaloide care exercită o acțiune de protecție împotriva agenților coagulanți.

Solurile hidrofiele sînt stabile prin însăși structura lor, adică prin legătura intimă dintre faza dispersă și mediul de dispersie. În această categorie intră coloizii organici.

Solurile neorganice au de obicei un caracter mai mult sau mai puțin hidrofob, stabilitatea lor depinzînd în primul rînd de sarcina electrică. Dar și aceste soluri hidrofobe sau liofobe pot fi clasificate în ordinea hidrofiliei lor, care, deși slabă, apare mai evidentă la unele soluri. Se poate stabili astfel seria: metale < sulfuri < soluri electropozitive ale hidroxizilor metalici < soluri electronegative ale hidroxizilor metalici obținute în prezența compușilor oxigenați.

Solurile hidrofiele pot transmite caracterul lor hidrofil (și deci și stabilitatea lor) și solurilor hidrofobe, prin formarea unui strat de adsorbție de sol hidrofil pe suprafața particulelor hidrofobe. Aceste soluri de acoperire sînt de obicei soluri organice reversibile. Ele iau numele de *coloizi de protecție*. În prezent se aplică protecția prin coloizi hidrofilii și în general liofilii la numeroși coloizi hidrofobi (liofobi) pentru scopuri practice, de pildă la prepararea multor hidrosoluri întrebuintate în medicină (argint, plumb etc.).

După Zsigmondy (1901), particula solului protejat este învelită într-un strat de coloid de protecție, ceea ce face ca întreaga micelă să fie liofilă și în jurul ei să se poată forma un strat lichid. De aci rezultă că ea este mai mare decît particula neprotejată corespunzătoare.

Stratul de coloid de protecție pe suprafața particulei liofobe este de obicei mult mai mic decît particula protejată. Astfel, la protecția hidrosolului de aur cu diametrul de 25 mμ, stratul protector de gelatină are o grosime de aproximativ 0,8 mμ (Zsigmondy-Thiessen, 1926).

În practică, acțiunea protectoare a fost introdusă de Paal (1902), care a găsit că produsele de degradare a albuminei din ou sub acțiunea hidroxizilor alcalini (sărurile de sodiu ale acidului lizalbinic și protalbinic) sînt buni coloizi de protecție. Prin reducerea unui metal în prezența unui sol de protecție au fost preparate o serie de hidrosoluri metalice. Dintre acestea, prezintă interes pentru medicină hidrosolul de argint, care este cunoscut sub numele de *colargol*.

Stabilitatea acestui coloid este atît de mare, încît poate fi uscat complet, dînd o pulbere strălucitoare care se dizolvă apoi ușor în apă, formînd din nou un sol stabil. Numărul unor astfel de coloizi protejați este foarte mare. A. F. Gherasimov (1926) a preparat hidrosoluri protejate stabile de Sb, Bi, Cu, Ag.

Pentru protecție se mai folosesc gelatina, cleiul vegetal, pectina, cazeina, cauciucul, guma arabică, dextrina etc.

În afară de coloizii organici de protecție există și coloizi neorganici de protecție: purpura lui Casius este un hidrosol de aur protejat cu acid stanic.

În fine, trebuie să mai arătăm că nu numai hidrosolurile pot fi protejate, ci în general toate liosolurile. Astfel, prin pulverizarea electrică a metalelor prin metoda Bredig, în lichide organice, se pot obține soluri stabile, protejate cu sol liofil de cauciuc, hexan etc.

Prin această metodă s-au obținut în hexan soluri de Mg, Zn, Pb, Sn, Cu, Fe etc. Buni coloizi de protecție sînt și esterii celulozei: acetatul de celuloză, nitratul de celuloză etc.

Pentru determinarea gradului de protecție se folosește sensibilitatea solului roșu de aur la care începutul coagulării se observă după modificarea culorii roșii în violet. Pentru aceasta se iau 10 ml sol roșu de aur și se determină ce cantitate minimă (în mg) de coloid de protecție trebuie adăugată pentru a împiedica trecerea culorii roșii a solului de aur în violet, la adăugarea unui ml de soluție NaCl 10%. Această valoare a fost numită de Zsigmondy „cifra de aur”. Este evident că cifra de aur este cu atât mai mare cu cât coloidul protector are un grad de protecție mai mic. Pentru ușurință în lucrări, s-a introdus și un indice invers, adică inversul cifrei de aur, care se numește coeficient de protecție. Tabelul 28 arată cifra de aur și coeficientul de protecție pentru coloizii de protecție uzuali.

Tabelul 28

Cifrele de aur și coeficienții de protecție pentru unii coloizi de protecție

Coloidul de protecție	Cifra de aur	Coeficientul de protecție
Gelatină și alte cleiuri animale	0,005—0,001	200—100
Clei de pește	0,01—0,02	100—50
Cazeină	0,01	100
Gumă arabică	0,15—0,25	6—4
Oleat de sodiu	0,4 —1	2,5—1
Gumă tragant	2	0,5
Dextrină	6—20	0,17—0,05
Amidon	25	0,04

Trebuie menționat că nu există totdeauna un paralelism perfect în protecția diferitelor soluri hidrofile pentru unii și aceiași coloizi hidrofobi.

h) Starea de gel. Sistemele coloidale care au proprietăți de corp solid se numesc geluri. Sistemele liofobe în care faza dispersă are o concentrație mică sînt adevărate lichide. La solurile liofile, la mărirea concentrației, sistemele capătă însușiri din ce în ce mai accentuate de corpuri solide. Duritatea acestor corpuri se întinde pe scară foarte mare: începînd de la gelurile mobile de gelatină și pînă la cremene și opaluri (SiO_2 coloidal). Dintre geluri fac parte: cauciucul, cleiul, gelatina, numeroase țesuturi de origine animală sau vegetală, pielea, fibrele textile, care sînt geluri naturale. Geluri obținute prin transformări industriale sînt: coca, piinea, marmelada, pelteaua, jeleurile etc.

Reversibilitatea. Unele soluri se pot transforma în gel și apoi, modificîndu-se condițiile, gelul se transformă din nou în sol. Acești coloizi se numesc *reversibili*. În această categorie se află cea mai mare parte a coloizilor liofili, organici. Alți coloizi, cum sînt cei liofobi, o dată transformați în gel, nu mai pot reveni la forma de sol. Aceștia se numesc coloizi *nereversibili*. În unele cazuri, solul încălzit la anumită temperatură se coagulează și dă un gel nereversibil (de ex. albușul de ou).

Structura gelului. Pentru a putea înțelege mai ușor structura gelului trebuie să urmărim diferitele fenomene care fac legătura dintre forma de gel și cea de sol. Astfel, o foaie de gelatină solidă, transparentă, incoloră introdusă în apă și ținută acolo citva timp, se umflă, adică se îmbibă cu apă. Încălzind apoi apa în care se află gelatina umflată, se obține solul de gelatină. Concentrația acestui sol poate varia între limite mari. În general, lăsat la rece, solul de gelatină se gelifică, adică se transformă într-o masă solidă elastică, mobilă. Temperatura de gelificare depinde de concen-

trația solului. Există însă o proporție a gelatinei în sol care nu poate da o gelificare.

Aceste modificări fac să se admită că, în stare de *sol*, micellele sînt dispersate în apă, în cazul hidrosolilor, pe cînd în starea de gel micellele se grupează astfel încît cuprind ca în niște celule sau capsule cantitatea de apă prezentă, așa că sistemul pare solid.

Această grupare se face astfel: micellele se ating prin capetele lor și dau o rețea spațială, un fel de țesătură în care lichidul intermicelar devine intramicelar (fig. 190).

Micellele hidroxizilor de fier, de aluminiu etc. au formă de plăci, cele ale pentaoxidului de vanadiu au formă de ace, iar coloizii organici cu un grad mare de polimerizare, care formează ușor geluri, constau totdeauna din molecule mari sau micelle lungi, filiforme. Prin unirea acestor diferite feluri de micelle se formează ușor o rețea. Examinînd o soluție coloidală de cauciuc se poate vedea la ultramicroscop cum particulele izolate se unesc în conglomerate, în formă de lanț, pierd mobilitatea browniană și par imobile.

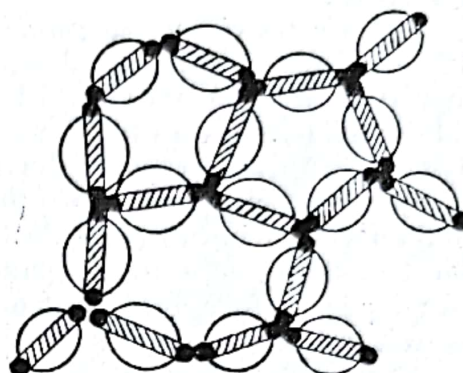


Fig. 190 — Structura gelului.

Gelul cuprinde două faze: *scheletul gelului*, care-i dă proprietăți de corp solid, și care este compus din micelle legate în rețele filiforme sau în formă de capsule, de celule cu pereții poroși, și *faza lichidă*, care umple toate golurile acestui schelet solid. Astfel, la gelatină, scheletul gelului este format din pereți construiți din gelatină solidă, iar spațiile sînt ocupate de o soluție foarte diluată de gelatină în apă.

Tixotropia. Unirea micelilor într-o rețea care să cuprindă lichidul poate fi uneori atît de labilă încît este suficientă o simplă scuturare a vasului sau o amestecare cu ajutorul unei baghete pentru a se obține un sol; acesta, rămînînd în repaus, poate da din nou un gel. Fenomenul se numește *tixotropie*.

Adsorbția. Pe suprafața gelurilor se produc toate fenomenele superficiale care s-au studiat și la soluri: dintre acestea face parte și adsorbția.

Dacă se studiază uscarea unor coloizi organici: amidon, celuloză umezită (vată, hîrtie de filtru), se constată că, la început, pierderea de apă se face mai repede, dar către sfîrșit ea se încetinește din ce în ce mai mult. Apa care se îndepărtează mai greu formează deci un strat legat intim de scheletul gelului. Această apă este reținută prin fenomenul de adsorbție. Ea este alcătuită dintr-o peliculă monomoleculară care aderă la micelle.

Apa din stratul adsorbit are proprietăți particulare: are putere dizolvantă mai mică decît de obicei și îngheață mai greu. În ultimul timp, B. Dereaghin a arătat că, în general, straturile subțiri de lichid, și în special cele în contact cu solidul, au proprietăți diferite de cele ale masei de lichid de același fel. Astfel, o peliculă în grosime de $0,1 \mu$ are o elasticitate și o rezistență la deformare asemănătoare celor ale corpurilor solide.

Cercetarea problemei apei adsorbite prezintă un interes practic deosebit în diferitele domenii ale biologiei aplicate, în industrie, construcții etc. N. V. Maksimov a arătat că rezistența plantelor la secetă și îngheț este cu atît mai mare cu cît țesuturile plantei conțin mai multă apă adsorbită.

S-a observat că îmbătrânirea ţesuturilor animale este însoţită de o pierdere a apei adsorbite, în timp ce cantitatea de apă liberă creşte în aceste ţesuturi.

Multe proprietăţi tehnice ale unor sisteme coloidale care prezintă interes pentru industria alimentară sînt explicate prin fenomenul legării prin adsorbţie a apei. Astfel, piinea uscată pierde însuşirea de a lega apă; ea îmbătrîneşte, se învecheşte (A. V. Dumanski, A. G. Kulman). Procesul prelucrării pielii este de asemenea în legătură cu variaţia în cantitate a apei adsorbite.

Îmbibarea şi uscarea gelurilor sînt două fenomene inverse. Introducînd un coloid uscat într-un lichid, el se îmbibă cu lichid, îşi măreşte volumul, se umflă. Aceasta se observă la clei, gelatină etc. Dacă lăsăm la aer sau încălzim moderat, timp îndelungat, acest gel îmbibat, el pierde apa şi se usucă. Această proprietate o au gelurile elastice, liofile, cum sînt cele de gelatină care pot adsorbi o cantitate mult mai mare de lichid decît greutatea lor. Gelurile au o imbibiţie selectivă: astfel, cauciucul se îmbibă cu benzen, dar nu cu apă, care nu udă cauciucul. Îmbibarea atinge o limită, care dacă este depăşită, face loc fenomenului de dizolvare. Cercetări amănunţite asupra uscării gelurilor au fost făcute de A. V. Lîkov.

Sinereza. Proprietăţile fizico-chimice ale gelurilor se modifică cu timpul: sistemul „îmbătrîneşte”. Coloizii reversibili pierd această proprietate. Gelul care s-a format din sol începe să separe o parte din lichidul reţinut, întîi sub formă de picături la suprafaţă, apoi îşi micşorează volumul, se contractă. Se separă, nu lichid pur, ci o soluţie diluată a fazei disperse.

Fenomenul a fost observat şi studiat de W. Ostwald; el a fost numit *sinereză*. Este vizibil la pasta de amidon, gelatină, săpun, lapte prins (iaurt). La proteine, sinereza depinde de aciditatea mediului (pH); la gelatină se observă sinereza numai la punctul izoelectric. Sinereza este cu atît mai rapidă cu cît temperatura este mai ridicată (S. M. Lipatov).

Difuziunea prin geluri. Gelurile sînt medii în care se produc de multe ori fenomene fizico-chimice importante pentru biologie, tehnică etc. Dintre procesele fizice legate de studiul şi de practica medicală, două sînt mai importante: difuziunea prin geluri şi conductibilitatea electrică a gelurilor.

Gelurile de concentraţie mică nu împiedică aproape de loc difuziunea cristaloizilor. Viteza de difuziune scade cu creşterea concentraţiei gelului pentru acelaşi cristaloid. Cristaloizii, avînd molecule mici, difuzează mai uşor printr-un gel, pe cînd coloizii (de exemplu, substanţele colorante macromoleculare) difuzează mai greu.

Fenomenul de difuziune prin gel poate fi studiat cu uşurinţă în modul următor. Pe o placă de sticlă se toarnă o soluţie de gelatină 3% în apă, în care s-a dizolvat 0,1% bicromat de potasiu. Cînd pelicula de gelatină bicromată s-a gelificat pe sticlă, se depune în mijlocul plăcii o picătură mai mare (5 picături mici) de soluţie de nitrat de argint 8,5%. Dacă operaţia s-ar fi făcut fără gelatină, am fi avut imediat un precipitat de bicromat de argint. În gelatina bicromată, precipitatul se formează însă mai încet; în jurul picăturii de nitrat de argint se precipită un inel de bicromat de argint. În regiunea concentrică următoare, din care bicromatul a difuzat pentru a reacţiona cu argintul, regiune care a rămas deci fără bicromat, nu se poate forma precipitatul; excesul de nitrat de argint care nu a reacţionat, difuzează prin zona de gelatină fără bicromat, ajunge la zona următoare care conţine bicromat şi reacţia se repetă, formîndu-se un nou inel de bicromat de argint.

Dacă lăsam placa în repaus timp de 24 de ore, obținem o serie de inele, numite inelele lui Liesegang, după numele celui care le-a obținut pentru prima oară (1896).

Experiența de difuziune prin gel se poate face turnând ge'atina cu bicromat într-o serie de eprubete, iar la 3 ore după gelificare se toarnă cite 2 ml de soluție de AgNO_3 . Inelele se formează în jos la distanțe neegale (fig. 191) și nu au grosimi egale, din cauza modificării concentrației substanțelor în prezență.

Se pot obține prin această metodă inele de bicromat de plumb. Gelatina poate fi înlocuită cu agar. Prin reacții asemănătoare se pot obține inele bine conturate preparând gelatină cu MgCl_2 și turnând, după răcire, în eprubetă, amoniac concentrat. După 24 de ore se obțin straturi frumoase de Mg(OH)_2 , așa cum se vede în prima și a doua eprubetă din fig. 191. Prin reacții corespunzătoare se pot obține inele Liesegang din iodură de aur, cromat de cupru, într-un gel de acid silicic etc. $\cdot \cdot \cdot$

Leduc, aplicînd pe o placă de sticlă un strat de gelatină cu 5% NaCl , depune în punctele P și P' (fig. 193) citeva picături de soluție de NaCl 15% în apă colorată, iar în mijloc, o picătură de soluție de NaCl 2%, colorată cu tuș de China. După cîtva timp, se observă linii colorate care arată drumul particulelor ce difuzează, și anume de la soluția mai concentrată de NaCl spre cea mai diluată. Se obțin astfel figuri care amintesc pe

cele ale kariokinezei biologice. Inelele lui Liesegang prezintă interes biologic, deoarece explică colorațiile periodice și depunerile în țesuturile animale. Prin același fenomen se explică și colorația straturilor de agat. Diferitele depuneri periodice în geluri, care au uneori forme foarte complexe, au fost studiate de F. M. Semeakin, P. F. Mihalev, M. S. Dunna (1929 — 1938). În fig. 194 este reprezentată o rozetă luminoasă de ferocianură de argint obținută pîntr-o reacție între o picătură de nitrat de argint și ferocianură de potasiu dizolvată în gelatină. Acestui fenomen de difuziune prin gel i s-au dedicat peste 100 de lucrări, și pentru explicarea lui s-au propus nu mai puțin de 6 teorii.

Conductibilitatea electrică a unui gel este o altă formă a difuziunii prin gel, și anume a electroliților; ea este în legătură cu viteza de deplasare a ionilor prin gel. Structura gelurilor este pentru conductibilitatea electrică o piedică, la fel ca și pentru difuziune.

Experiența arată că conductibilitatea electrică în geluri este cu atît mai mică cu cît concentrația gelului este mai mare.

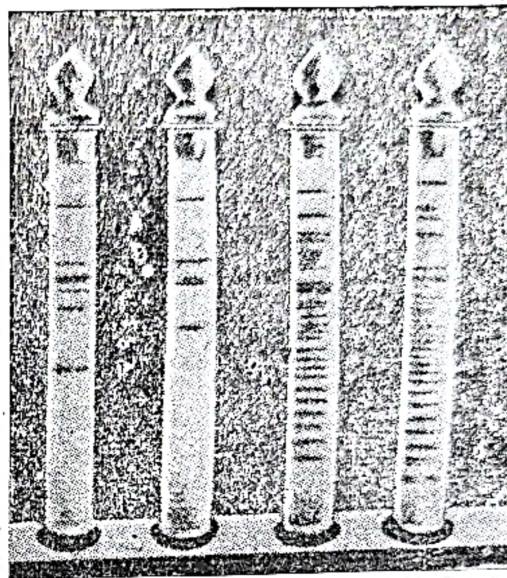


Fig. 191 — Inelele lui Liesegang în tuburi.

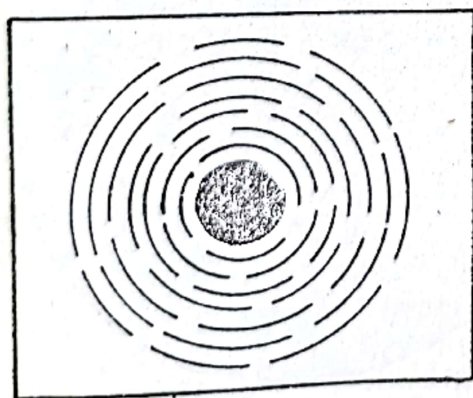


Fig. 192 — Inelele lui Liesegang pe o placă acoperită cu gelatină și $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Mișcarea ionilor se face în lichidul intermicelar. O aplicație a acestui fenomen este folosirea gelurilor coloidale ca mediu pentru electrolitul din elementele galvanice numite „uscate”. Elementul uscat de tip Leclanché are drept electrolit clorura de amoniu; aceasta este încorporată într-o masă geliformă de amidon fiert sau de agar-agar. Procesele electrochimice care dau naștere curentului electric se pot desfășura ca și cum electrolitul ar fi dizolvat în apă; viteza de deplasarea ionilor este însă mai mică decât în cazul apei.

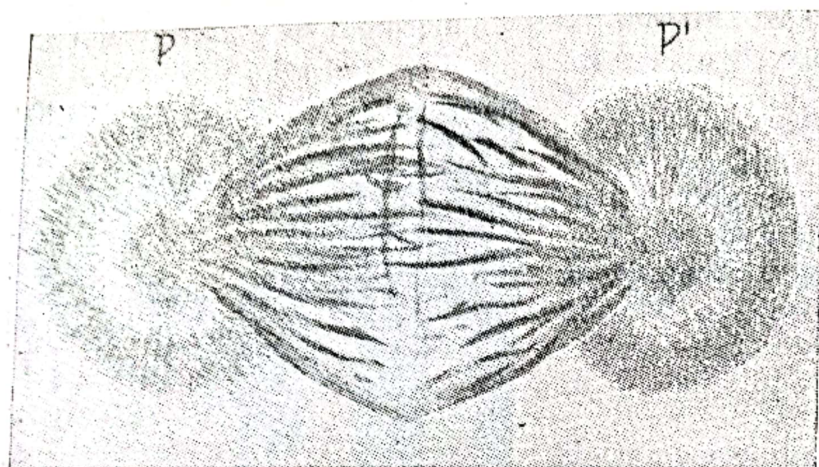


Fig. 193 — Experiență de difuzie prin gelatină (Leduc).

fiind că părțile cele mai importante ale organismului sînt constituite din coloizi, se poate considera că multe laturi ale fenomenelor specifice care caracterizează organismul se vor lămuri o dată cu dezvoltarea cunoștințelor despre coloizi. Coloidologia are importanță în dezvoltarea științelor biologice prin însuși faptul că lichidele și țesuturile care compun organismul sînt sisteme coloidale. Procesele cele mai complexe în legătură cu viața decurg în sisteme coloidale.

Protoplasma celulară se prezintă, fie ca gel, fie ca sol. Masa protoplasmatică, deși adesea omogenă din punct de vedere optic, prezintă la analiza spectrografică cu raze Röntgen o structură eterogenă datorită orientării micelilor.

În organism, structura coloidală a membranelor determină modificări de permeabilitate legate de nevoile metabolismului. Se observă de multe ori că din două corpuri, avînd mari analogii fizico-chimice, unul pătrunde în celulă, pe cînd celălalt este oprit de membrana celulară. Adesea chiar doi izomeri optici au acțiuni fiziologice foarte neegale, din cauză că numai unul din ei poate traversa membrana celulară.

Pentru medicină, interesul este mare, fiindcă, alături de rolul coloizilor în biologie și în fiziologie, s-au imaginat numeroase metode

i) **Importanța stării coloidale în biologie.** Mendeleev spunea, la începutul secolului, cînd știința coloizilor, deși începuse a se contura, era totuși pentru mulți plină de nelămuriri, că problemele puse de această știință trebuie considerate ca probleme importante și primordiale ale științelor naturii. Dat

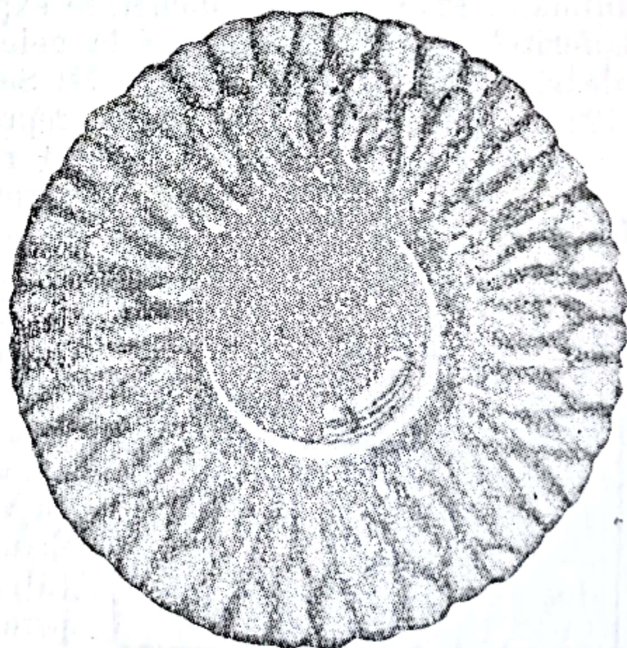


Fig. 194 — Rozetă de ferocianură de argint obținută prin difuzie în gelatină de P. N. Semeakin.

de igienă generală, de prevenire și ocrotire a sănătății maselor, unde baza științifică o constituie cunoașterea și manipularea sistemelor coloidale.

De asemenea sînt folosiți numeroși coloizi în terapeutică. La metalele coloidale, modul de acțiune este legat de gradul de dispersie al metalului, deci este în raport cu fenomenele de suprafață și cu sarcinile electrice ale micelilor, natura chimică a metalului avînd un rol secundar. Mecanismul cel mai verosimil al acțiunii coloizilor medicamentoși ar consta în precipitarea parțială a proteinelor din sînge și în fenomenele de adsorbție care au loc.

Meteorologia, agrotehnica, geologia și alte ramuri ale științei, legate de studiul fenomenelor naturii, se slujesc de studiul sistemelor disperse în general și al sistemelor coloidale în special.

3. SOLUȚIILE

Dispersiile care au faza dispersată de dimensiuni mai mici de $1\text{ }\mu\text{m}$, în general de ordinul de mărime de $1\text{ }\text{\AA}$, se numesc soluții.

Fiind utilizate în numeroase operații din domeniul studiilor și aplicațiilor chimiei, atît soluțiile, cît și procesele legate de ele (disociația electrolitică, pH-ul, oxidoreducerea etc.) formează obiectul unor capitole speciale din chimia fizică.

Aci vor fi tratate numai unele aspecte fizice ale problemei, în cadrul celor trei mari categorii de dispersii: suspensii, coloizi și soluții.

a) **Categorii de soluții.** Faptul că moleculele uneia din substanțe sînt dispersate ca atare printre moleculele altei substanțe cere definirea mediului de dispersie și al substanței dispersate. În această privință s-a luat prin convenție precumpănirea cantitativă: de exemplu, dacă într-un amestec de alcool și apă se află 49% alcool etilic și 51% apă, faza dispersată este alcoolul și mediul de dispersie este apa, iar dacă alcoolul se află în proporție de 51% și apa de 49%, faza dispersată este apa, și mediul de dispersie este alcoolul. Totuși, deoarece solventul cel mai comun este apa, o soluție de 70% alcool și 30% apă se numește o soluție de alcool în apă.

Toate acestea arată că soluția este un sistem care poate fi considerat ca un amestec molecular omogen.

Așa cum am arătat la studiul suspensiilor, legătura dintre faza dispersată și mediul de dispersie se poate face în anumite condiții, în diferite stări de agregare.

În tabelul 29 sînt prezentate cîteva cazuri curențe de soluții în cele trei stări de agregare: solidă, lichidă și gazoasă.

Din toate aceste amestecuri moleculare, se numesc în mod curent soluții, dispersiile în care mediul de dispersie este lichid, iar faza dispersată este solidă, lichidă ori gazoasă.

În soluții, fazele au denumiri curențe care datează din epoca empirică a științelor. Astfel, mediul de dispersie se numește solvent sau dizolvant, iar faza dispersată se numește solutul sau substanța solubilă.

b) **Concentrația soluțiilor.** Dintr-un anumit solvent și o anumită substanță solubilă se pot prepara o serie de soluții, fiecare avînd altă concentrație procentuală de substanță solubilă dizolvată în solventul dat. Mărimea fizică ce definește soluția din punctul de vedere al conținutului de substanță solubilă se numește concentrație.

Concentrația unei soluții poate fi definită după criterii deosebite; se cunosc astfel trei feluri de concentrații ale soluțiilor.

Faza dispersată	Mediul de dispersie		
	Solid	Lichid	Gazos
	Solid	Aliaje, sticle	Apa de băut, apele minerale, soluția cloruro-sodică izotonică
	Lichid	Apa de cristalizare	Alcoolul diluat, amestecul de hidrocarburi lichide
Gazos	Incluzii de hidrogen în paladiu, de CO în fontă incandescentă	Aer, oxigen, azot dizolvate în apă; metan dizolvat în petrol	Aerul; gazele combustibile naturale; amestecul de gaze zerovalente

— *Concentrația în greutate* se numește cantitatea de substanță dizolvată într-un gram de solvent. Astfel, dacă se notează cu m cantitatea în grame de substanță solubilă și cu M cantitatea în grame de solvent, raportul $\frac{m}{M}$ reprezintă concentrația în greutate, în grame, la gram de solvent.

— *Concentrația în volum* reprezintă cantitatea de substanță solubilă care se găsește într-un litru de soluție. Având m grame de substanță solubilă dizolvată în volumul V al soluției, raportul $\frac{m}{V}$ reprezintă concentrația în volum a soluției în grame la litru de soluție.

— *Concentrația moleculară* se numește numărul n de molecule-gram de substanță solubilă aflate într-un litru de soluție. Raportul $\frac{n}{V}$ dintre numărul de molecule-gram de substanță solubilă și volumul soluției reprezintă concentrația moleculară, în molecule-gram la litru de soluție.

c) **Coefficient de solubilitate** sau solubilitatea se numește cantitatea maximă de substanță care se poate dizolva în 100 g solvent, deci $\frac{m}{M} \times 100$.

Coefficientul de solubilitate depinde de natura corpului dizolvat, de natura solventului și crește în general cu temperatura. Astfel, azotatul de potasiu KNO_3 are coeficientul de solubilitate 32,5 la temperatura de 20° și 85 la temperatura de 58° . La unele substanțe variația este mică: clorura de sodiu NaCl are coeficientul de solubilitate 36 la 20° și 39 la 70° . Există și substanțe al căror coeficient de solubilitate atinge un maximum la o anumită temperatură: sulfatul de zinc ZnSO_4 are coeficientul de solubilitate maxim la 81° , apoi descrește.

d) **Soluții saturate și suprasaturate.** La soluțiile substanțelor solide în lichide, dacă concentrația soluției este de atare natură încât faza solidă se află în prezență cu soluția, și deci nu se mai pot dizolva alte molecule, soluția se numește saturată la temperatura dată. În unele cazuri, dizolvând o cantitate mai mare de substanță la o temperatură mai ridicată și răcind apoi soluția, nu se depune substanța solidă dizolvată în plus, ci rămâne în soluție; aceasta devine astfel o soluție suprasaturată. Soluțiile suprasaturate sînt labile și depun substanța dizolvată în plus, uneori prin simpla introducere a unui fragment cristalin din substanța dizolvată.

e) Solubilitatea gazelor. Unele gaze reacționează chimic cu lichidul cu care se află în prezență: bioxidul de carbon dizolvat în apă formează acidul carbonic; bioxidul de sulf dizolvat în apă formează acidul sulfuros etc. Alte gaze nu reacționează: acestea se dizolvă după legea lui Henry, studiată în capitolul de mecanică a gazelor.

Soluția de gaz în lichid este o soluție saturată când se află în contact cu gazul în stare liberă. Coeficientul de solubilitate al unui gaz într-un lichid reprezintă volumul de gaz, la presiunea exterioară, dizolvat în unitatea de volum de lichid.

Potrivit legii lui Henry, solubilitatea unui gaz într-un lichid depinde de natura gazului și de natura lichidului: scade la ridicarea temperaturii și crește cu ridicarea presiunii gazului aflat nedizolvat deasupra lichidului. În cazul unui amestec de gaze, cum este de exemplu aerul, fiecare gaz se dizolvă ca și cum s-ar afla singur în volumul ocupat de amestec. Prezența altor gaze, indiferente din punct de vedere chimic, nu influențează solubilitatea, așa că un gaz aflat într-un amestec se dizolvă într-un lichid în raport direct cu presiunea sa.

Rezultă de aci că solubilitatea totală a unui amestec de gaze este egală cu suma solubilităților parțiale ale gazelor componente.

Exemplificări de interes biologic s-au făcut la expunerea legii lui Henry, unde s-a accentuat importanța faptului că oxigenul fiind mai solubil în apă decât azotul, aerul din apă cuprinde de două ori mai mult oxigen decât aerul atmosferic, ceea ce creează condiții favorabile de viață pentru fauna și flora acvatică.

Acustica studiază anumite vibrații ale corpurilor materiale, care se reflectă în simțurile noastre sub formă de sunet.

Vibrația este un fenomen mecanic. Ea nu devine sunet decât prin reflectarea în simțul nostru auditiv. De aceea, acustica fizică se studiază în legătură cu acustica fiziologică (audiția și fonația).

Urechea omenească și a celor mai multe animale este sensibilă pentru sunete alcătuite din vibrații cu frecvența între 16 și 20 000 perioade pe secundă (herți). Prin extindere, sînt studiate în acest capitol al fizicii și vibrațiile elastice care depășesc aceste limite.

La fel ca în optică, unde se studiază radiațiile infraroșii și cele ultraviolete, aflate de o parte și de alta a spectrului luminii vizibile, în acustică se studiază infrasunetele, care au vibrații cu frecvență mai mică, și mai ales ultrasunetele, care au vibrații cu frecvență mai mare decât cele audibile.

Aplicate în biologie și medicină, ca și în tehnică, vibrațiile de frecvență acustică și ultraacustică au și o importanță științifică generală, fiindcă mișcările vibratorii ale corpurilor sonore pot fi uneori văzute sau sesizate prin pipăit sau prin alte mijloace intuitive, deci sînt verificabile direct.

Pentru înțelegerea justă a fenomenului acustic trebuie studiate bazele fizice ale acusticii, oscilațiile armonice, cu diferitele lor calități. Multe din fenomenele mecanice studiate în acustică sînt folosite și în optică, și în general în domeniile care studiază procesele ondulatorii.

I. MIȘCAREA OSCILATORIE ARMONICĂ

A. MIȘCAREA PERIODICĂ CONTINUĂ

La studiul mișcării circulare uniforme s-a văzut că mobilul parcurge o traiectorie circulară într-un anumit timp T , revenind astfel la punctul de unde a plecat, numit originea mișcării, și plecînd apoi din nou în același sens; mișcarea se continuă și se repetă periodic pe traiectoria circulară. Această mișcare a unui mobil care se mișcă uniform pe cerc, în același sens, se numește *mișcare periodică continuă*.

Parametrii care caracterizează mișcarea sînt, după cum am arătat: spațiul 2π (în radiani) pentru un cerc și $2n\pi$ pentru o parcurgere de n ori a cercului; timpul mișcării este intervalul T în care mobilul parcurge cercul; mișcarea fiind periodică, timpul se numește perioadă, iar numărul de perioade efectuate de mobil într-o secundă se numește *frecvență* și se notează cu ν . Între perioada T și frecvența ν avem relația $\nu T = 1$, de unde

$$T = \frac{1}{\nu} \text{ și } \nu = \frac{1}{T}.$$

Viteza, care este raportul dintre spațiu și timp, are aci un caracter unghiular și se numește viteză unghiulară. Viteza unghiulară ω este unghiul la centru parcurs în unitatea de timp

$$\omega = \frac{S}{t} = \frac{2\pi}{T}.$$

Ea se mai numește și pulsație.

Exemple practice sînt mișcările acelor ceasornicului, toate mișcările circulare uniforme ale motoarelor, ale roților de vehicule, ale mașinilor rotative etc.

B. MIȘCAREA PERIODICĂ ALTERNATIVĂ

Dacă proiectăm pozițiile succesive ale mobilului (fig. 195) în mișcare periodică continuă, de la A spre B , C și D pe o dreaptă orizontală aflată sub cerc sau chiar pe diametrul orizontal al cercului, obținem o serie de puncte care se deplasează din punctul O' spre dreapta, de exemplu, pînă la o anumită distanță $O'B'$, egală cu raza cercului, se reîntorc apoi spre punctul O' , trec spre stînga pînă ajung din nou la o distanță egală cu raza cercului, și apoi se reîntorc la originea proiecțiilor O' , de unde reîncepe mișcarea.

Proiecția mișcării periodice continue este deci de asemenea o mișcare periodică, dar de data aceasta *alternativă*, care se numește mișcare oscilatorie armonică. În practică, astfel de mișcări sînt întâlnite la vibrarea unei lame de oțel, a coardelor vocale, la mișcarea pendulară etc.

Cînd perioada T are valoare mică, mișcarea se mai numește și mișcare vibratorie.

Ecuția mișcării oscilatorii armonice se poate stabili cu ajutorul mișcării periodice continue, a cărei proiecție am văzut că este. Pentru a putea stabili ecuația punctului M (fig. 196) în momentul t , ne folosim de proiecția acestui punct pe diametrul orizontal DB al cercului; problema constă în determinarea valorii proiecției $Om = x$, în acel moment. Cînd punctul material M este în A , proiecția lui va fi în O , $t = 0$ și $x = 0$.

Cînd M ajunge în B , x a căpătat valoarea maximă pozitivă $OB = r$,

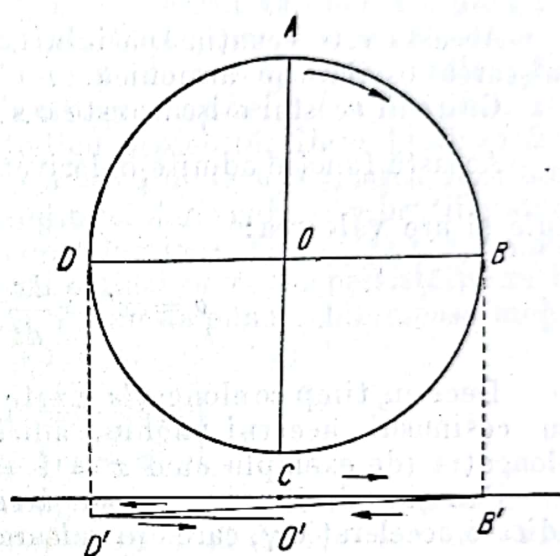


Fig. 195 — Mișcarea oscilatorie armonică este proiecția mișcării periodice continue.

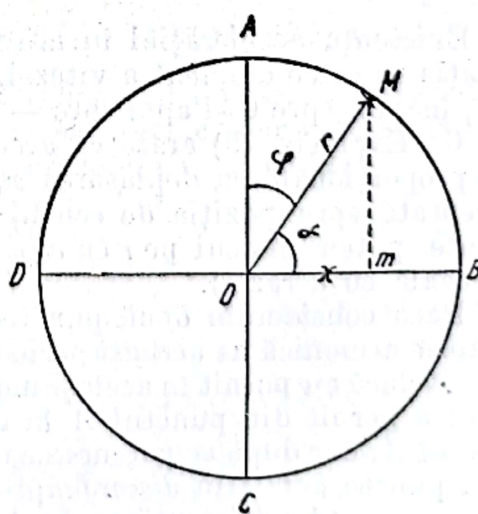


Fig. 196 — Elementele pentru stabilirea ecuației mișcării oscilatorii armonice.

care se numește amplitudinea a a oscilației. Pentru orice poziție intermediară între 0 și OB , când mobilul M a parcurs în timpul t un spațiu unghiular φ cu viteza ω , deci $\varphi = \omega t$, valoarea lui x se numește elongație și se determină astfel:

$$x = r \cos \alpha; \quad (1)$$

cum $\alpha = 90 - \omega t$, vom avea

$$x = r \sin \omega t; \quad (2)$$

cum $\omega = \frac{2\pi}{T}$, avem:

$$x = r \sin \frac{2\pi t}{T}. \quad (3)$$

Aceasta este ecuația spațiului x în mișcarea periodică continuă și în mișcarea oscilatorie armonică.

Graficul acestei mișcări este o sinusoidă.

Această funcție admite o derivată $\frac{dx}{dt}$ (viteza), care este dată de calcule și are valoarea:

$$v = x' = \frac{dx}{dt} = \omega r \cos \omega t. \quad (4)$$

Deci în timp ce elongația crește cu sinusul unghiului ωt , viteza crește cu cosinusul acestui unghi, adică se micșorează pe măsură ce crește elongația (de exemplu când $x = 1 = a$, $x' = 0$).

Funcția admite și o a doua derivată a spațiului în raport cu timpul, adică o accelerație γ , care are valoare după cum se demonstrează:

$$\gamma = x'' = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 r \sin \omega t = -\omega^2 x. \quad (5)$$

Existența accelerației în mișcarea oscilatorie armonică este legată de variația în orice moment a vitezei, care face ca mobilul să meargă de la 0 la +1, înapoi spre 0 și apoi spre -1, să se oprească aici spre a reveni apoi spre 0. Expresia (5) arată că accelerația în mișcarea oscilatorie armonică este proporțională cu deplasarea x , dar semnul ei negativ arată că ea este îndreptată spre poziția de echilibru a mișcării. În toate formulele de mai înainte putem înlocui pe r cu a (a = amplitudinea mișcării, care are valoarea egală cu a razei).

Dacă considerăm două puncte materiale în mișcare vibratorie sau oscilatorie armonică de aceeași perioadă, vom găsi că ele pot fi în *concordanță* de fază dacă au pornit în același moment din același punct sau dacă al doilea mobil a pornit din punctul A în momentul când primul pornea și el din punctul A , dar după ce parcursese un număr n de traiectorii circulare. Aceste două puncte pot fi în *discordanță* de fază când între drumul lor, pe cercul parcurs, există o diferență unghiulară φ (numită diferență de fază).

Dacă $\varphi = 180^\circ$, cele două mișcări sînt în *discordanță* maximă, adică în *opозиție* de fază.

C. COMPUNEREA OSCILAȚIILOR ARMONICE

De multe ori un corp face în același timp mai multe oscilații deodată. Prin compunerea acestor oscilații se obține o rezultantă, care este și ea o mișcare oscilatorie.

Două cazuri se întâlnesc mai frecvent: când oscilațiile sînt paralele și cînd ele sînt perpendiculare între ele.

1. COMPUNEREA OSCILAȚIILOR PARALELE

Unul din cazurile mai simple de compunere a două vibrații se poate exemplifica prin experiența următoare: dacă facem să vibreze orizontal două diapazoane întreținute electric, cu o frecvență destul de mare, fiecare diapazon avînd pe cîte o ramură o oglindită, și dacă o rază de lumină venită dintr-un izvor luminos S se reflectă succesiv pe oglinzile celor două diapazoane și este primită pe un ecran, pe acest ecran va apărea o dungă luminoasă a cărei lungime depinde de diferența de fază dintre cele două vibrații. Dacă vibrațiile sînt concordante și de aceeași amplitudine, linia luminoasă va avea valoarea $2a$, deci cît suma ambelor amplitudini. Dacă ele sînt concordante, dar de amplitudine deosebită, linia luminoasă are valoarea $a_1 + a_2$, iar dacă sînt în discordanță de fază, valoarea rezultantei luminoase este $a_1 - a_2$. Dacă amplitudinile sînt egale și vibrațiile sînt în opoziție de fază, se vede numai un punct luminos. Frecvența diapazonului fiind destul de mare, imaginea dată de oglinzi pe ecran persistă pe retină, și de aceea o vedem sub formă de linie, iar nu de puncte luminoase mobile.

Dacă notăm cele două vibrații cu

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= a_1 \sin(\omega t - \varphi) \\ x_2 &= a_2 \sin(\omega t - \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

și pulsațiile lor ω sînt luate egale, elongația x a corpului solicitat de cele două oscilații, din poziția de echilibru, este redată de expresia următoare, care este suma algebrică a elongațiilor x_1 și x_2 :

$$x = x_1 + x_2 = a_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + a_2 \sin(\omega t - \varphi_2). \quad (2)$$

2. COMPUNEREA OSCILAȚIILOR PERPENDICULARE

Dacă vom considera un caz mai simplu, cînd un punct material este supus la două oscilații armonice cu frecvențe egale, dar care se fac după direcții perpendiculare între ele, ecuațiile oscilațiilor vor fi

$$\left. \begin{aligned} x &= a \sin \omega t; \\ y &= b \sin(\omega t - \varphi). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Eliminînd timpul între aceste două ecuații și efectuînd calculul, vom obține mișcarea rezultantă a celor două oscilații, care are ca traiectorie o elipsă cu ecuația

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \varphi = \sin^2 \varphi \quad (2)$$

Deoarece punctul mobil are abscisa cuprinsă între $-a$ și $+a$ și ordonata între $-b$ și $+b$, el se va mișca în interiorul unui dreptunghi $ABCD$, cu centrul în originea sistemului de axe de coordonate dreptunghiulare;

dreptunghiul are latura mică $2a$ și latura mare $2b$ paralele (fig. 197), cu axele x și y .

Elementele elipsei, adică excentricitatea și direcția axelor ei, depind de valoarea diferenței de fază φ . Când diferența de fază φ dintre cele două vibrații componente este un număr întreg de π , elipsa devine o dreaptă; pentru toate celelalte valori ale lui φ , elipsele sînt mai mult sau mai puțin turtite.

În fig. 198 se arată cazurile speciale care se prezintă la compunerea vibrațiilor perpendiculare de aceeași perioadă și de amplitudini diferite, pentru diverse valori ale diferenței de fază φ .

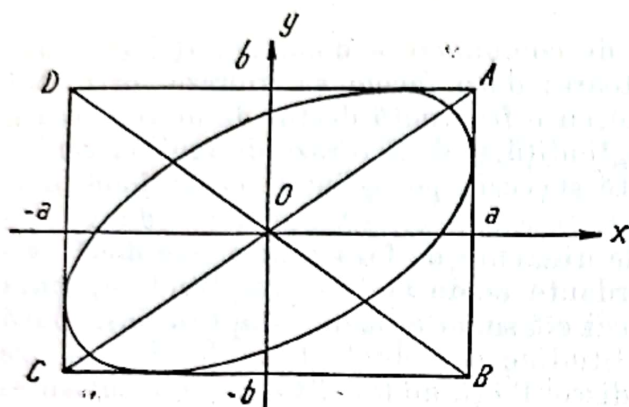


Fig. 197 — Rezultanta a două oscilații perpendiculare.

În cazul particular când diferența de fază este un număr nepereche de $\frac{\pi}{2}$, iar amplitudinile celor două oscilații sînt egale ($a = b$), ecuația elipsei devine:

$$x^2 + y^2 = a^2,$$

adică traiectoria mișcării rezultante este un cerc. Dacă

$\varphi = \frac{\pi}{2}$, vibrația este circu-

lară stîngă, iar dacă $\varphi = \frac{3\pi}{2}$, vibrația circulară este dreaptă.

Dacă oscilațiile perpendiculare au perioade diferite, traiectoriile vibrației rezultante sînt curbe de diferite forme, după raportul în care se află perioadele vibrațiilor componente. Curbele obținute se numesc *figurile lui Lissajous* (fig. 199).

3. OSCILAȚII PARALELE CU PERIOADE PUȚIN DIFERITE

Din compunerea a două vibrații paralele și de perioade puțin diferite între ele rezultă un fenomen cunoscut în acustică sub numele de „bătăi”. Cu ajutorul bătăilor se poate determina frecvența unui sunet necunoscut sau se poate descompune un sunet complex în componentele sale. Experimental, fenomenul bătăilor se poate obține cu două diapazoane identice, care se dezacordează puțin picurînd pe ramurile unuia puțină ceară; acest diapazon vibrează cu oarecare întîrziere față de celălalt. Pentru concretizarea ideilor să presupunem că unul din cele două diapazoane are frecvența 433 Hz și celălalt 434 Hz. Deși ambele vibrații încep simultan, cînd ele ajung, după o jumătate de secundă, la a 217-a vibrație, în timp ce un diapazon

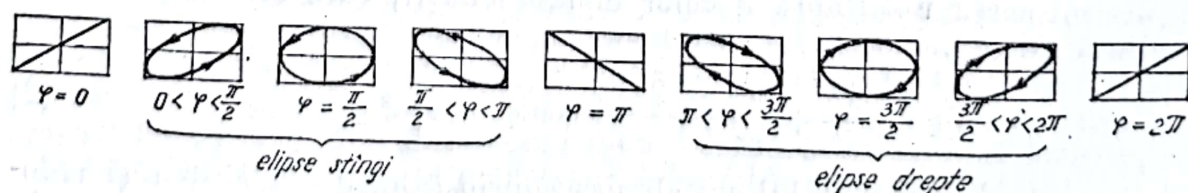


Fig. 198 — Compunerea vibrațiilor perpendiculare de perioadă egală și amplitudine diferită.

va avea direcția vibrației în sus, celălalt fiind în întârziere, va avea vibrația în jos, așa că în acel moment, amplitudinile scăzându-se, vom avea pentru o fracțiune foarte mică de timp tăcere, precedată de scăderea și urmată de intensificarea sunetului. Deci, pentru diferența de o vibrație pe secundă între două mișcări vibratorii are loc o bătaie; un raționament analog ne arată că pentru diferența de două vibrații pe secundă între cele două diapazoane avem două bătăi într-o secundă etc.

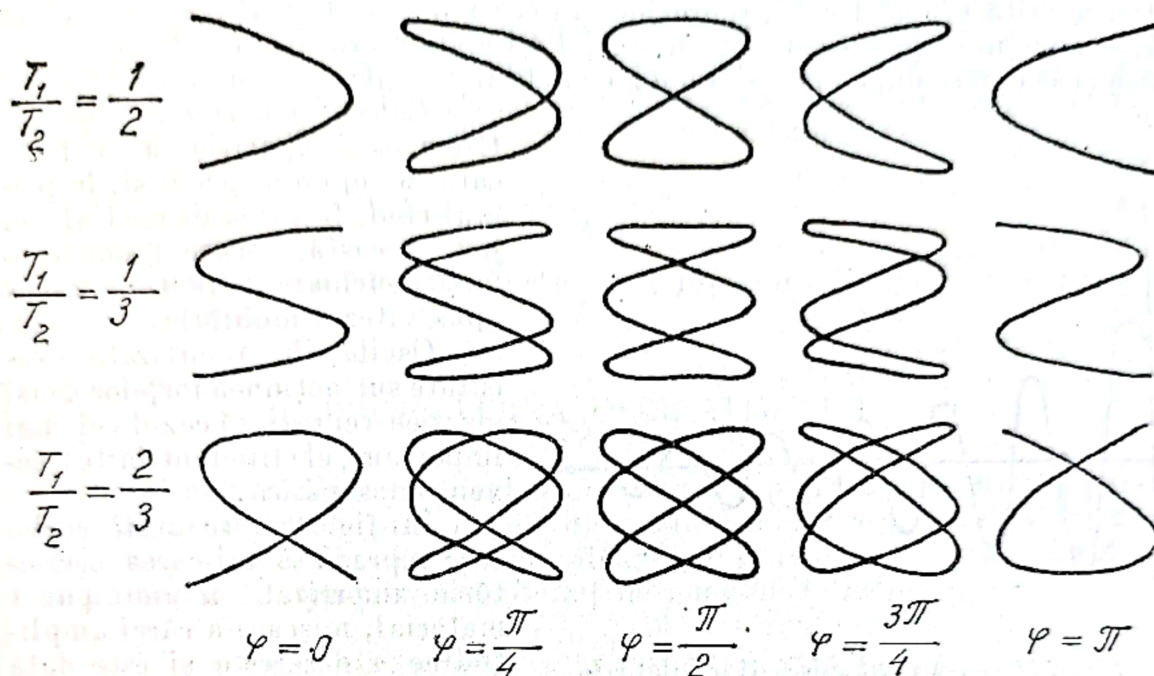


Fig. 199 — Figurile lui Lissajous.

4. COMPUNEREA MIȘCĂRILOR OSCILATORII ARMONICE CU PULSAȚII DIFERITE

Această compunere dă o rezultantă cu un caracter mai complicat. Astfel, în fig. 200 se vede rezultanta $x_1 + x_2$ în compunerea a două mișcări oscilatorii armonice cu pulsațiile ω_1 și ω_2 pornite simultan. Compunerea mișcărilor oscilatorii de pulsații diferite are însemnătate în înregistrarea și reproducerea sunetelor, după cum se va vedea în capitolul respectiv.

5. OSCILAȚII NEAMORTIZATE ȘI OSCILAȚII AMORTIZATE

Un punct material M de masă m , care se poate mișca în jurul unei axe, efectuează o serie de oscilații după ce a fost scos din poziția de echilibru și asupra lui nu mai lucrează nici o forță străină, ci numai forțele cvasi elastice (de exemplu, componenta forței de gravitate pe direcția deplasării) care au ca efect readucerea punctului material în poziția de echilibru.

Mișcarea are o pulsație proprie ω_0 , care depinde de masa m ,

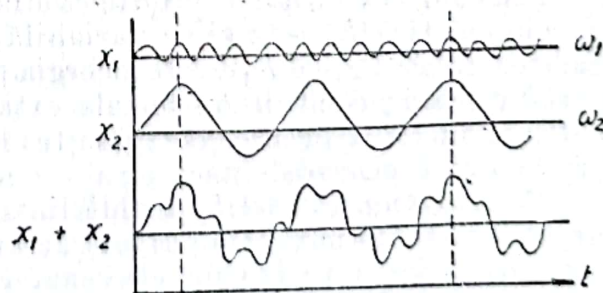


Fig. 200 — Compunerea a două mișcări armonice cu pulsații diferite.

de o constantă de proporționalitate k , caracteristică sistemului material; frecvența ei ν_0 poate fi redată prin expresia următoare:

$$\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Dacă punctul material a început să oscileze, el își continuă mișcarea la infinit, oscilațiile avînd permanent aceeași amplitudine. Această oscilație, numită neamortizată, reprezintă un caz teoretic. În realitate, vibrațiile libere ale unui punct sau corp material își micșorează cu timpul amplitudinea și se opresc după cîtăva vreme, deci ele sînt oscilații amortizate.

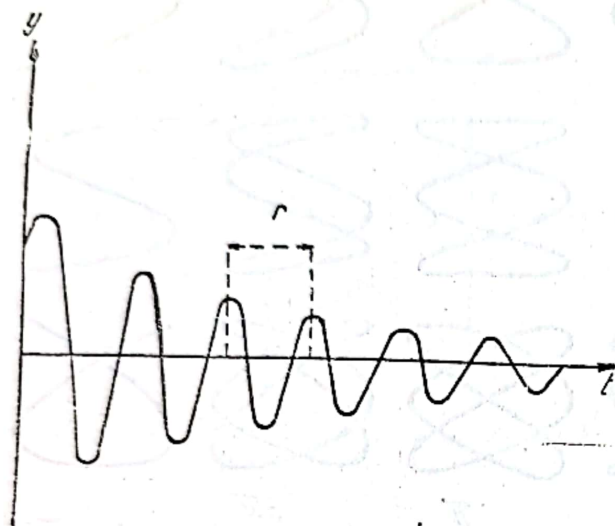


Fig. 201 — Graficul mișcării oscilatoare amortizate.

Cauza amortizării oscilațiilor este apariția unor forțe care se opun mișcării și, în primul rînd, frecarea de mediul din jur. Această frecare produce o forță de frînare îndreptată în sens opus vitezei mobilului.

Oscilațiile amortizate executate sub acțiunea forțelor cvasi elastice reprezintă cazul cel mai important, ele fiind întîlnite frecvent în acustică.

În fig. 201 se arată curba care reprezintă mișcarea oscilatorie amortizată a unui punct material, mișcare a cărei amplitudine a descrește și este dată de expresia

$$a = Ae^{-\delta t}$$

Mărimea δ este numită factor de amortizare și caracterizează amortizarea mișcării, iar valorile lui a descreșc cu timpul (e este baza logaritmilor naturali).

6. ENERGIA MIȘCĂRII OSCILATORII ARMONICE

Dacă un punct material cu masa m efectuează oscilații cu viteza v sub influența unei forțe cvasi elastice, el are energia cinetică:

$$E_c = \frac{mv^2}{2}.$$

Din cauză că vitezele sînt diferite în puncte diferite, așa cum am văzut, energia cinetică E_c este și ea variabilă. În acest caz, este evident că dacă scade energia cinetică E_c crește energia potențială E_p , care are drept măsură lucrul mecanic cheltuit de forțele exterioare pentru deplasarea punctului material în locul în care se găsește în momentul considerat, învingînd forțele cvasi elastice.

Energia totală a oscilatorului liniar, în vibrație liberă neamortizată, rămîne constantă în tot timpul mișcării vibratorii, E_c și E_p variînd tot timpul în sens invers. Cînd punctul material trece prin poziția de echilibru, energia sa potențială este nulă, întreaga sa energie fiind energie cinetică, iar cînd punctul ajunge la poziția extremă de oscilație, viteza sa se anulează, schimbînd semnul, și se anulează și E_c , dar E_p este maxim.

Pentru a cunoaște energia totală a oscilatorului este de-ajuns să se calculeze energia sa cinetică sau potențială maximă. Din calcule reiese că energia cinetică maximă are drept valoare

$$E_{cin\ max} = E_{tot} = \frac{mv^2}{2} = \frac{mr^2 \omega^2}{2} = \frac{1}{2} ma^2 \omega^2,$$

adică este proporțională cu pătratul amplitudinii și al pulsației.

Cum însă energia cinetică variază de la zero la valoarea maximă, valoarea ei medie se calculează socotind integrala energiei cinetice în timpul unei perioade și împărțind rezultatul la valoarea acestui interval de timp; calculul dă pentru energia cinetică medie expresia

$$E_{cin\ med} = \frac{1}{4} ma^2 \omega^2,$$

adică valoarea medie a energiei cinetice este jumătate din valoarea energiei totale a oscilației.

D. PROPAGAREA OSCILAȚIILOR

Punctul material care oscilează aflându-se într-un mediu elastic cu particulele legate între ele prin forțele elementare cunoscute, energia lui de oscilație se propagă; din aproape în aproape, cu o anumită viteză, care depinde de mediu și care provoacă oscilațiile punctelor din jur.

1. UNDE LONGITUDINALE ȘI UNDE TRANSVERSALE

Procesul de propagare a oscilațiilor într-un mediu elastic se numește undă.

La propagarea oscilațiilor, particulele nu se deplasează, ci oscilează în jurul pozițiilor lor de echilibru. Mișcarea progresează, transmițându-se particulelor apropiate, în timp ce particulele care s-au mișcat înainte revin după o serie de oscilații, la poziția de echilibru. Aceasta se poate dovedi intuitiv lăsând să pice o picătură de apă pe suprafața apei dintr-un cristalizor cu diametru mare. Pe suprafața apei, în jurul locului unde a căzut picătura, se formează o depresiune, după care urmează imediat o ridicătură. Regiunea începe să oscileze. Aceste adâncituri și ridicături se propagă la suprafața apei sub forma unor valuri circulare concentrice. În procesul de propagare a oscilațiilor, un obiect ușor, plutind pe suprafața apei, urmează mișcarea de ridicare și coborîre a undei, fără însă să se deplaseze în direcția propagării undei. Oscilațiile perpendiculare pe direcția de propagare a undei se numesc *unde transversale*.

Dacă exercităm o presiune momentană asupra unei pături de aer la capătul unui tub, iar această pătură comprimă un strat vecin, după care se reîntoarce la poziția de echilibru, stratul nou comprimat se destinde, comprimând și el la rândul său un alt strat vecin; această deformare elastică se propagă astfel de-a lungul tubului. Datorită apropierii și depărtării particulelor, au loc în acest caz comprimări și dilatări succesive, care se propagă în direcția oscilațiilor. Undele care iau naștere într-o astfel de oscilație se propagă în direcția oscilației; ele se numesc *unde longitudinale*.

Modul de propagare transversal sau longitudinal al undulațiilor în mediul care vibrează este în funcție de proprietățile elastice ale mediului con-

siderat; dacă la deplasarea unui strat față de altul iau naștere forțe elastice care readuc stratul deplasat spre poziția sa de echilibru, cum este în cazul corpurilor solide, iau naștere în acel mediu unde transversale. La lichide și gaze, dacă la deformarea prin compresiuni și dilatări succesive apar forțe elastice, se formează unde longitudinale.

La lichide pot exista și unde transversale, însă numai la suprafață; la corpurile solide pot exista și unde longitudinale.

Unda este caracterizată de trei parametri: λ , ν , T .

Lungimea de undă λ reprezintă distanța cea mai mică dintre două puncte care oscilează în concordanță de fază;

viteza de propagare ν a undelor longitudinale în mediul considerat este dată de expresia

$$\nu = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

unde E este modulul de elasticitate și ρ este densitatea mediului. Legătura dintre lungimea de undă, viteză și perioada T a oscilației este dată de relația:

$$\lambda = \nu T,$$

de unde

$$\nu = \frac{\lambda}{T}.$$

2. UNDE SFERICE

Presupunind un centru de oscilație S , aflat într-un mediu perfect elastic, omogen și izotrop, adică având aceeași structură și însușiri identice în toate direcțiile, de la el vor porni oscilații uniforme în toate direcțiile. Pentru concretizarea ideii, să considerăm un balon sferic, elastic, care printr-un mijloc oarecare se umflă și se dezumflă periodic, producând o comprimare și dilatare ritmică a păturilor de aer din imediata lui apropiere; mișcarea propagându-se cu aceeași viteză ν în toate direcțiile, toate punctele care vor suferi în momentul t acțiunea perturbațiilor se vor afla pe o sferă cu raza r .

Suprafața acestei sfere se numește *suprafață de undă*. Ea este locul geometric al tuturor punctelor care oscilează în concordanță de fază.

Cu cât sferele concentrice au raza mai mare, cu atât curbura suprafețelor de undă scade; când centrul de oscilații S se află la infinit, undele sferice devin *unde plane*, iar suprafețele de undă devin *plane paralele*.

Direcțiile după care se propagă oscilațiile se numesc *raze*.

3. DIFRACTIA

Dacă pe suprafața unei ape pe care se produc unde printr-un mijloc oarecare se așază un obstacol A , care are un orificiu a de dimensiuni mici în raport cu lungimea de undă λ (fig. 202), unda, ajungând la obstacol, se reflectă, dar perturbația de pe suprafața de undă, din dreptul orificiului a al obstacolului, servește drept nou centru al unor oscilații care se propagă pe suprafața părții liniștite de apă, dincolo de obstacol; forma acestei unde din partea a doua este semicirculară, indiferent de forma unde din partea întâi, deschiderea a devenind centrul unor noi oscilații, care se propagă mai

departe în toate direcțiile. Acest fapt arată că fiecare punct al suprafeței de undă, cum este punctul a , poate deveni, în condiții favorabile, un nou centru de oscilație. Această constatare experimentală a fost făcută și enunțată sub formă de ipoteză de Huyghens la 1790 și a primit numele de *principiul lui Huyghens*. Confruntat cu rezultatele studiilor făcute asupra suprafețelor de undă, pe baza teoriei elasticității, principiul lui Huyghens a fost dovedit mai târziu ca just.

Principiul lui Huyghens permite construirea suprafețelor de undă. Dacă unda are formă sferică, cu raza R (fig. 203), și se propagă din centrul de oscilație S , fiecare punct de pe suprafața de undă fiind un nou centru S' de oscilații, se descrie în jurul lui o emisferă de undă elementară. Toate aceste unde sferice noi având drept rază pe λ , se va forma după timpul T o coroană de emisfere foarte mici și foarte apropiate între ele în jurul vechii suprafețe de undă. Suprafața tangentă exterioară, care înfășoară toate suprafețele emisferice elementare, va fi o suprafață sferică cu raza $R_1 = R + vT = R + \lambda$. Deci, unda sferică propagându-se, noua suprafață de undă are și ea o suprafață sferică.

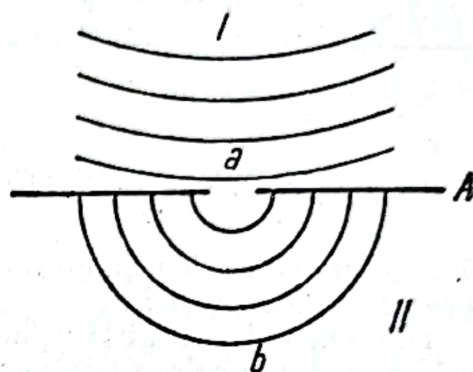


Fig. 202 — Obstacolul A cu orificiu mic este o nouă sursă de unde (II)

O porțiune dintr-o suprafață de undă de formă sferică, dar de rază foarte mare, se poate socoti ca fiind plană și se numește front plan de undă.

Principiul lui Huyghens permite construirea și a suprafeței unei unde plane.

Energia de oscilație găsindu-se la un moment dat pe un plan σ , sensul de propagare fiind cel indicat de săgeată și izvorul fiind deci practic foarte departe (fig. 204), fiecare din punctele de pe suprafața σ este un centru de oscilație.

Înfășurătoarea acestor sfere va fi tot o suprafață sferică, însă infinit de mare, așa că se poate considera o porțiune ca o suprafață plană, paralelă cu σ : ea va alcătui suprafața de undă σ' , la distanța λ după timpul T .

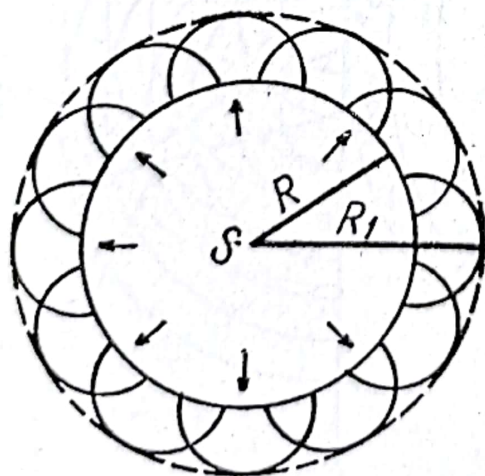


Fig. 203 — Construcția lui Huyghens.

4. INTERFERENȚA UNDELOR

Într-un punct din spațiu pot trece simultan unde care provin din mai multe centre de oscilație. Mișcarea aceluia punct va fi rezultanta mișcărilor pe care le-ar fi executat punctul pentru fiecare perturbare în parte.

Suprapunerea a două sau mai multe unde care se propagă în spațiu constituie fenomenul de *interferență*.

Experiența arată că două sisteme de unde, care pornesc din centre diferite, se suprapun într-o regiune anumită și apoi fiecare din ele se propagă mai departe în mod independent. Acest principiu al independenței propagării undelor este cunoscut sub numele

de principiul suprapunerii și este caracteristic pentru propagarea oscilațiilor. El se verifică ușor producând pe suprafața unei ape liniștite două procese ondulatorii cu ajutorul a două picături de apă care cad simultan în două locuri deosebite; undele circulare formate se întretaie și se propagă mai departe independent unele de altele. În regiunea de suprapunere, oscilațiile se compun și dau fenomenul de interferență.

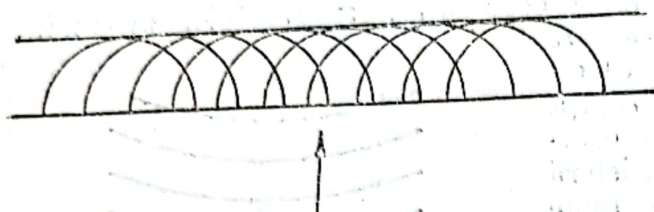


Fig. 204 — Suprafața unei unde plane.

și s_2 , așezate simetric față de raza de propagare ce trece prin mijlocul intervalului dintre s_1 și s_2 .

După principiul lui Huyghens, aceste două deschideri s_1 și s_2 sînt centre independente de oscilații: ele oscilează în concordanță de fază, deoarece distanțele lor la sursă sînt egale. Dincolo de obstacol se vor propaga deci două unde sferice, iar la fiecare punct al acestui spațiu oscilațiile vor proveni din compunerea acestor două unde.

În ce privește amplitudinea oscilației rezultante, am arătat că ea depinde de diferența de fază a oscilațiilor componente: dacă oscilațiile sînt concordante (diferența de fază este zero sau un multiplu de 2π), amplitudinea este maximă, deci egală cu suma celor două amplitudini ale oscilațiilor componente. Dacă însă oscilațiile sînt în opoziție, adică diferența de fază este egală cu un număr impar de π , amplitudinea are valoarea minimă, fiind egală cu diferența celor două amplitudini componente.

Într-un anumit punct A , unde se vor suprapune cele două unde, oscilațiile vor avea amplitudinea rezultantă maximă sau minimă, după diferența de fază a celor două oscilații. Această diferență de fază depinde însă de diferența dintre drumul r_1 și r_2 pe care l-au străbătut cele două unde de la originea lor și pînă la locul de intersecție.

Diferența de fază și cea de drum pentru ca amplitudinea rezultantă în punctul A să fie

Vom studia un caz special aplicat în acustică și în optică, și anume cazul surselor coerente.

Un exemplu de surse coerente de oscilații se poate realiza în modul următor: în calea unei unde sferice ridicăm un obstacol BB' (fig. 205), care are două orificii mici s_1

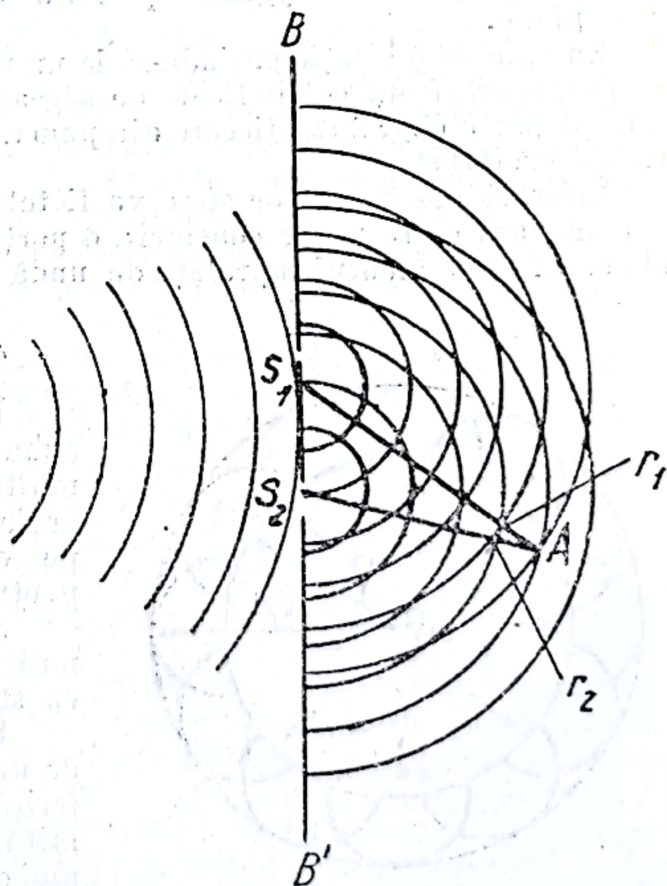


Fig. 205 — Suprapunerea undelor care pornesc din centrele de oscilație s_1 și s_2 .

minimă este dată de expresia

$$\varphi = 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = \pm (2k + 1)\pi,$$

în care k este zero ori un număr întreg.

Valoarea minimă a amplitudinii se obține în punctele pentru care diferența dintre lungimea drumului celor două raze r_1 și r_2 este egală cu număr impar de jumătăți de λ , adică $r_2 - r_1 = (2k + 1)\lambda$. Făcând același raționament, obținem condiția valorii maxime a amplitudinii rezultante:

$$\varphi = 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = \pm 2k\pi,$$

în care k are aceeași valoare ca mai sus și unde deci diferența de drum $r_2 - r_1$ trebuie să fie

$$r_2 - r_1 = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda,$$

adică valorile maxime ale amplitudinii se află în punctele pentru care diferența de drum a razelor este egală cu un număr pereche de jumătăți de lungime de undă.

Pentru diferențele de fază de valoare intermediară, suprapunerea intensifică sau slăbește oscilația.

5. UNDE STAȚIONARE

Un caz special de interferență a două unde este cel al undelor staționare, care se formează prin suprapunerea a două unde plane cu amplitudini egale ce se propagă în sens contrar.

Următoarea experiență poate concretiza ideile în această privință: de ramura unui diapazon (fig. 206) electric se leagă o coardă de vioară al cărei capăt liber este trecut peste un scripete; întinderea coardei se face cu greutatea pusă în platanul P . Punem diapazonul în vibrație și așezăm greutatea pe platan astfel ca să avem vibrația distinctă a coardei.

Undele incidente se vor reflecta de punctul B de pe scripete, iar undele reflectate se vor reîntoarce pe drumul BA , întâlnindu-se cu cele incidente. Mișcarea fiecărui punct de pe coardă este astfel rezultanta a două mișcări oscilatorii, una incidentă, în sensul AB , și alta reflectată, în sensul BA .

Rezultă evident că solicitarea fiecărui punct de pe coardă nu este aceeași. Astfel observăm că punctul V oscilează în mod diferit de punctul N . Aceasta se datorește faptului că fiecare punct N este depărtat de punctul V vecin cu $1/4 \lambda$, și deci mișcarea incidentă ajunge în N mai devreme cu $1/4 T$. Dimpotrivă mișcarea reflectată sosește în N cu $1/4$ perioadă mai târziu decât în V . Deci, în N cele două mișcări avînd o diferență de fază de $1/2$ perioadă, sînt discordante și se anulează, deci punctul N nu vibrează.

În V , mișcarea este maximă, căci de la V la B unda incidentă face $T/4$, și tot astfel unda re-

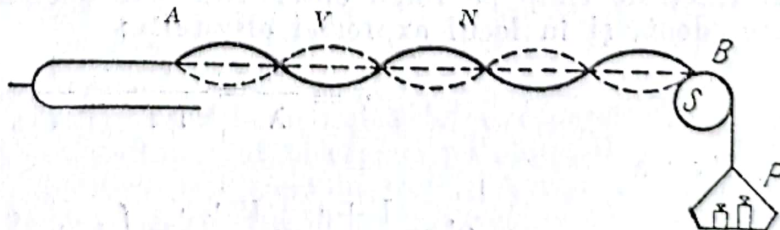


Fig. 206—Unde staționare, noduri și umflături (ventre).

flectată. În total vom avea deci $1/2 T$, la care se adaugă încă $1/2 T$, pierdut prin reflecția în B .

În punctul V_1 , mișcarea incidentă este în avans cu $1/2 T$ față de V , iar mișcarea reflectată sosește aci mai târziu cu $1/2 T$ față de V . Prin urmare, mișcările în V_1 și V_2 au între ele o diferență de fază de o perioadă și, ca atare, vibrațiile se adună: punctul V vibrează la maximum. Toate punctele care se află în situația punctului V , adică V_1, V_2, V_3 etc., vibrează la maximum. Punctele de maximum de vibrație se numesc *ventre* sau *umflături*, iar cele de minimum de vibrații se numesc *noduri*.

Nodurile se află între ele la o distanță de $\lambda/2$; la fel, ventrele se află și ele la o distanță de $\lambda/2$ între ele; este evident că între două noduri se află un ventru și între două ventre un nod. Distanța dintre o maximă și o minimă este de $\lambda/4$.

În ceea ce privește reflectarea undelor care dau naștere undelor staționare, trebuie să arătăm că, în general, la locul de reflectare se formează un nod, dacă mediul de pe care se produce reflectarea este mai dens decât mediul în care se propagă undele. Aceasta se datorește faptului că la locul de reflectare unda schimbă faza cu cea direct opusă, adică se adună oscilațiile în opoziție de fază, fapt demonstrat pe baza fenomenelor care se produc la suprafața de separare a două medii elastice. Cum acest fenomen survine când diferența de drum este de $\lambda/2$, fenomenul reflectării de un mediu mai dens se numește în mod curent „reflectare cu pierdere de o jumătate lungime de undă”.

Dimpotrivă, dacă mediul de pe care se produce reflectarea este mai puțin dens decât cel în care se propagă unda, se formează la această limită un ventru. În acest caz, unda nu-și schimbă faza la locul reflectării, așa că „nu se pierde o jumătate lungime de undă”.

6. EFECTUL DOPPLER

Legătura dintre oscilațiile emise de un izvor și cele percepute de un observator, când ei se deplasează unul față de altul, a fost stabilită de Doppler în 1842 și studiată de Fizeau în 1859. Fenomenul este cunoscut sub numele de efect Doppler, și adesea de efect Doppler-Fizeau.

Analiza fenomenului se poate face alegând patru cazuri caracteristice:

a) Observatorul A și sursa B fiind în repaus față de mediu, observatorul va percepe în unitatea de timp atâtea oscilații cîte unde vor trece pe lângă el, deci cîte oscilații au fost emise de sursă.

b) Dacă sursa B este în repaus și observatorul A se mișcă cu viteza d înspre sursă, vor trece pe lângă observator, în unitatea de timp, un număr mai mare de unde decât în cazul când observatorul se află în repaus. Observatorul mișcîndu-se în sens contrar propagării undelor, faptul este echivalent cu trecerea undelor pe lângă observator cu o viteză egală cu suma vitezelor V a undelor și v a observatorului. Numărul undelor care trec în unitatea de timp pe lângă observator este deci mai mare decât în cazul precedent, și în locul expresiei obișnuite:

$$v = \frac{V}{\lambda} = \frac{V}{VT} = \frac{1}{T} \quad (1)$$

vom avea

$$v' = \frac{V+v}{\lambda} = \frac{V+v}{VT} = \left(1 + \frac{v}{V}\right) v \quad (2)$$

Expresia (2) ne arată că, dacă observatorul se apropie de sursă, frecvența ν' a oscilațiilor este mai mare de $\left(1 + \frac{v}{V}\right)$ ori decât frecvența obișnuită ν a oscilațiilor.

Demonstrația și expresia (2) rămân valabile și pentru cazul când observatorul se depărtează de sursă. În acest caz, însă, luând convențional viteza observatorului ca negativă, factorul $\left(1 + \frac{v}{V}\right)$ devine $\left(1 - \frac{v}{V}\right)$, deci mai mic decât 1, așa că vom avea

$$\nu' = \left(1 - \frac{v}{V}\right) \nu, \quad (3)$$

de unde reiese evident că ν' este mai mic decât ν .

c) Dacă observatorul stă nemișcat și izvorul de oscilații se deplasează cu viteza u spre observator, în timpul unei perioade oscilația se va propaga înainte, cu lungimea de undă λ ; în acest timp, sursa parcurge în direcția unde drumul uT și, ca rezultat, lungimea de undă λ' va fi:

$$\lambda' = \lambda - uT = VT - uT = (V - u)T \quad (4)$$

Numărul de oscilații percepute de observator în unitatea de timp se mărește potrivit expresiei următoare:

$$\nu' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V}{(V - u)T} = \frac{V}{V - u} \nu, \quad (5)$$

adică numărul de oscilații percepute se va mări de $\frac{V}{V - u}$ ori.

Făcînd aceeași demonstrație pentru cazul când sursa se depărtează cu viteza u de observator și dînd convențional lui u semnul minus, ajungem la rezultatul că $\lambda' > \lambda$, și că deci $\nu' < \nu$.

d) Cazul general: observatorul și izvorul se deplasează concomitent în raport cu mediul în care se propagă undele, ambii cu viteze diferite de zero.

Deplasarea sursei aduce micșorarea lungimii de undă

$$\lambda' = \lambda - uT, \quad (6)$$

iar deplasarea observatorului va face ca el să perceapă în unitatea de timp un număr de oscilații $\frac{V + v}{V}$; deci, numărul oscilațiilor perceput de observator va fi în acest caz.

$$\nu' = \frac{V - v}{\lambda - uT} = \frac{V + v}{V - u} \cdot \frac{1}{T}$$

sau

$$\nu' = \frac{V + v}{V - u} \nu. \quad (7)$$

Efectul Doppler se verifică ușor în acustică la perceperea sunetelor. Astfel, cînd în fața unui observator aflat în repaus pe cîmp, departe de o stație de cale ferată, trece cu viteză uniformă un tren și locomotiva șuieră cîțva timp, el aude sunetul cum se înalță în ton (vibrații mai multe percepute în unitatea de timp) la apropierea locomotivei și cum coboară tonul (vibrații mai puține percepute în unitatea de timp) la depărtarea locomotivei.

II. SUNETUL

Sunetul este percepția de către organul auditiv a unei vibrații mecanice a unui corp material. Energia vibratorie se transmite de la corpul care vibrează printr-un mediu material elastic, gazos, lichid sau solid.

Ca orice mișcare vibratorie, vibrațiile corpului elastic care produc sunetul se propagă sub formă de unde longitudinale, de compresie și dilatare succesivă, într-un mediu gazos și lichid; la suprafața apei și în general la suprafețele de separare a două medii, undele sonore sînt însă transversale. Într-un mediu solid, aceste unde sînt, atât longitudinale, cît și transversale.

Într-un spațiu foarte mare, undele sonore pot fi plane, sferice, cilindrice etc., după forma suprafeței din vibrația căreia au provenit.

Direcția de propagare a undei sonore se numește rază sonoră.

A. VITEZA SUNETULUI

Pentru determinarea vitezei sunetului în aer se folosește formula lui Newton, stabilită pe cale teoretică cu 150 de ani înaintea determinării experimentale a propagării sunetului, și pe care am mai menționat-o:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

în care E este modulul de elasticitate, iar ρ este densitatea mediului.

Pentru propagarea adiabatică a sunetului în aer se obține valoarea:

$$V = \sqrt{\frac{P_0 \gamma (1 + \alpha t)}{\rho}}, \quad (1)$$

în care $P_0 = 760$ mm, γ = raportul dintre căldura specifică sub presiune constantă și cea sub volum constant (pentru aer $\gamma = 1,41$); $\rho_{\text{aer}} = 0,001293$ g/cm³; deci, în aer

$$V = 332,4 \sqrt{1 + \alpha t} \text{ m/s.} \quad (1)$$

Această expresie (1) se numește formula lui Laplace. Concordanța dintre valorile calculate și datele experimentale arată că propagarea sunetului în aer și, în general, în gaze este un fenomen adiabatic.

Propagarea sunetului în aer este influențată de o serie de factori. Cercetările experimentale între limite mari (-45° într-o expediție polară și 950°) au arătat că formula teoretică dă valori foarte apropiate de cele experimentale.

Viteza de propagare a sunetului în aer umed crește din cauză că vaporii de apă produc o scădere a densității aerului. Variațiile de presiune atmosferică ale aerului uscat modifică în același raport densitatea aerului, așa că variația vitezei sunetului cu presiunea atmosferică este insensibilă.

Pentru viteza sunetului în aer la temperatura t se întrebuițează formula simplificată:

$$v = 332 + 0,6 t.$$

Ionizarea aerului, aducînd o mărire a raportului γ de la 1,41 la 1,66 (care corespunde gazelor monoatomice), are drept consecință o mărire a vitezei sunetului.

Starea de agitație a aerului are o anumită influență asupra vitezei de propagare a sunetului. Intensitatea sunetului are de asemenea influență asupra vitezei de propagare, dacă această intensitate este mult mai mare decât intensitatea medie. În apropiere de locul unei explozii puternice, viteza sunetului atinge valori de 15—18 ori mai mari, însă descrește repede cu depărtarea de acest loc.

În lichide, viteza de propagare se calculează de asemenea după formula lui Newton:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Calculul pentru apă arată viteza de 1 424 m/s pentru temperatura de 0°, valoare aproape egală cu cea obținută prin experiență.

În solide, propagarea sunetului se face prin dilatări și comprimări succesive; dar fiecare dilatare longitudinală este însoțită de o contractare transversală, ceea ce face ca pe lângă undele longitudinale să se producă și unde transversale.

Viteza de propagare a undelor longitudinale într-un mediu elastic solid este mare; densitatea mare a corpurilor solide ar trebui să micșoreze viteza, după formula lui Newton; totuși modulul de elasticitate este atât de mare față de cel al fluidelor încât precumpănește și dă astfel lui v o valoare mare.

Rezultatul experimental coincide cu cel teoretic dedus din formula lui Newton, care ia forma următoare:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1 - \sigma}{1 - \sigma - 2\sigma^2}}$$

în care σ este coeficientul de contracție transversală (Poisson) și are valori cuprinse între 0,2 și 0,5. Dacă σ ia valoarea 0, expresia vitezei revine la formula lui Newton, ceea ce este cazul propagării undelor longitudinale într-o bară foarte subțire, unde contracția transversală este foarte mică și deci neglijabilă.

Vitezele de propagare a sunetelor în diferitele medii (gaze, lichide și solide) sînt redată în tabelul următor:

Tabelul 30

Mediul	Temperatura °C	Viteza (m/s)
1. Cauciuc	—	50—54
2. Aer	0	331,3
3. Aer	18°	342
4. Bioxid de carbon	0	259
5. Hidrogen	0	1 261
6. Apă pură	0	1 360
7. Apă pură	15	1 440
8. Apă de mare	15	1 503
9. Argint	—	2 800
10. Granit	—	3 950
11. Cupru	—	3 958
12. Fier-oțel	—	4 850—5 100
13. Aluminu	—	5 104
14. Sticlă	—	5 400

B. REFLECTAREA SUNETULUI

La suprafața de separare a două medii diferite, sunetul, ca orice fenomen vibrator, suferă trei modificări: se produc fenomenul de reflecție, cel de refracție și cel de absorbție.

Reflecția sunetului se face ca și reflecția luminii, după legile opticii geometrice: raza incidentă, raza reflectată și cea normală se găsesc în același plan; unghiul de incidență este egal cu cel de reflecție.

Ecoul constă din perceperea separată a sunetului original și a celui reflectat. Deoarece urechea noastră poate percepe cam 10 sunete separate pe secundă, fără a le confunda, și cum într-o zecime de secundă sunetul face în aer liniștit, la temperatura de 17°, aproximativ 34 m, urmează că ecoul se produce numai la reflectarea unui sunet de un obstacol aflat la o distanță de cel puțin 17 m de la izvorul sonor. Sosind la ureche cu oarecare întârziere, sunetul reflectat este perceput separat de cel incident, dar se acoperă cu cel următor, dând sunete confuze.

Dacă distanța este mai mică de 17 m, sunetul reflectat sosește imediat după cel direct, la un interval în care urechea nu mai poate separa două sunete și, în acest caz, el întărește unda sonoră rezultantă, acoperind sunetul incident. În acest caz, fenomenul se numește *reverberație*. În funcție de distanța obstacolului, unda reflectată poate acoperi, fie mai mult sunetul incident, învelindu-l, fie mai puțin, astfel încât se apropie de fenomenul numit ecou. Într-o sală mare, cu numeroase și variate obstacole, reverberația este lungă și amestecată, astfel că suprapunerea undelor reflectate peste cele incidente și peste unele din cele reflectate produce variații de intensitate care deformează sunetul.

Pentru ca sălile de conferințe, de cursuri, de spectacole să aibă o acustică bună, se înlocuiește reflecția sunetelor printr-o difuzare a undelor reflectate. Aceasta se obține printr-o construcție astfel făcută încât sunetele reflectate nu se mai întîlnesc cu cele directe.

De asemenea, pentru a evita efecte dăunătoare ale reverberației multiple, ale reflecției reziduale etc., se îmbracă pereții sălilor de teatru, conferințe, studiouri cinematografice, în catifea, se folosesc draperii de stofă, pentru a se *absorbi* în bună parte sunetele reflectate.

C. CARACTERISTICILE SUNETULUI

Sunetele se caracterizează prin trei calități mai importante: înălțime, intensitate și timbru. În afară de acestea, se mai studiază și caracterele fiziologice etc.

1. ÎNĂLȚIMEA

Înălțimea unui sunet depinde de frecvența vibrației corpului sonor, adică de numărul de perioade pe secundă (herți) ale aceluia corp în mișcarea sa oscilatorie. Experiența arată că, dacă două sunete sînt produse de corpuri care vibrează de același număr de ori în unitatea de timp, urechea noastră le percepe ca avînd aceeași înălțime. Sunetele produse de vibrații cu frecvență mai mică sînt sunete mai joase, mai profunde, iar cele cu frecvență mai mare sînt mai ascuțite, mai înalte.

În muzică, ca și în acustica fiziologică și medicală, înălțimea unui sunet se exprimă prin frecvența vibrației corpului care l-a produs. Studiul

oscilațiilor arată că un punct material are o frecvență bine determinată, pe cînd corpurile materiale pot avea concomitent vibrații de diferite frecvențe, însă bine determinate pentru un corp dat (coardă, membrană, tub sonor etc.).

Pentru un anumit corp, sunetul cu frecvența cea mai mică pe care acesta îl poate da se numește sunet fundamental, iar sunetele de frecvență superioară sînt de obicei armonicele sunetului fundamental, frecvențele lor fiind multipli ai frecvenței fundamentale.

2. INTENSITATEA

Intensitatea sau tăria unui sunet, într-un anumit punct al cîmpului sonor, adică al spațiului în care se propagă sunetul, este cantitatea de energie care străbate într-o secundă unitatea de suprafață situată în acel punct, perpendicular pe direcția de propagare a sunetului.

Se demonstrează că energia totală a unei oscilații neamortizate este dată de expresia:

$$E_t = 2 \pi^2 v^2 a^2 m,$$

unde v este frecvența proprie, a este amplitudinea vibrației și m este masa oscilatorului; energia dintr-un cm^3 din cîmpul sonor într-un mediu cu densitate ρ va fi:

$$e = 2 \pi^2 v^2 a^2 \rho.$$

Într-o secundă, cînd — în ipoteza propagării prin unde plane — energia străbate spațiul v , intensitatea sunetului va fi:

$$I = 2 \pi^2 v^2 a^2 \rho v.$$

Din această expresie reiese deci că intensitatea este în funcție de parametrii mișcării oscilatorii: amplitudine și frecvență, cum și de mărimi ce caracterizează mediul: densitatea ρ și viteza v .

Dacă sunetul se propagă prin unde sferice, intensitatea variază în raport invers cu pătratul distanței de la izvorul sonor.

a) **Măsurarea intensității vibrațiilor.** În procesul acustic se fac două feluri de măsurători: a) se măsoară intensitatea fenomenului mecanic care provoacă senzația de sunet, intensitate numită acustică sau sonoră; b) de asemenea, se măsoară intensitatea senzației auditive produsă de acest fenomen mecanic și care este numită intensitate auditivă.

În general, intensitatea sonoră se măsoară în W/cm^2 și mai adesea cu microwați/ cm^2 sau în $\text{ergi/cm}^2/\text{s}$ (un microwat = 10 ergi pe secundă).

În practică, pentru măsurarea ambelor categorii de intensități se folosește o scară logaritmică, fiindcă domeniul de intensități auditive este foarte mare, intensitatea acustică care produce senzația de durere fiind de 10^{14} ori mai mare decît cea de la care apare senzația de sunet; pe de altă parte, între intensitatea auditivă și cea acustică există o relație logaritmică formulată prin legea Weber-Fechner.

b) **Legea Weber-Fechner.** Studiile experimentale de acustică fiziologică au arătat că urechea noastră nu percepe de două ori mai intens un sunet cu o intensitate de vibrație de două ori mai mare. Plecînd de la numeroase experiențe, Weber și Fechner au descoperit și formulat legea care le poartă numele, și care este o formă a legii generale a relațiilor dintre intensitatea senzațiilor și intensitatea excitațiilor care le produc.

Legea Weber-Fechner se poate formula astfel: intensitatea senzației crește cu logaritmul intensității excitației:

$$S = C \ln I.$$

Rezultatele, destul de apropiate de realitate, au făcut ca această lege să servească drept bază a unui sistem de măsurare a intensității sonore, atât pentru excitația mecanică, cât și pentru senzația auditivă. În aceste măsurători, scara logaritmică prezintă avantajul unor valori numerice ușor de minuit (0 — 140) și caracterizează (fie chiar aproximativ) acțiunea sunetului asupra urechii.

c) Unități. Unitatea pentru intensitățile acustice, sonore, vibratorii, în scara logaritmică cu baza 10, se numește decibel (dB), iar unitatea pentru intensitatea auditivă se numește fon.

Nivelul de intensitate acustică sau sonoră N_s al unui sunet de intensitate I sau de presiune sonoră eficace p este definită din expresia:

$$N_s = 10 \log \frac{I}{I_0} = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ decibeli}$$

unde I_0 este intensitatea corespunzătoare pragului inferior de audibilitate pentru sunetul cu frecvența de 1 000 Hz (numit sunet de înălțime normală), iar p_0 reprezintă presiunea sonoră eficace a acestui sunet la pragul inferior de audibilitate. Experimentele arată că pragul inferior corespunde la $I_0 = 10^{-16} \text{ W/cm}^2$, deci $p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ bari}$.

În scara logaritmică, notarea se face simplu: un sunet de 100 de ori mai intens are 20 dB, cel de 10 000 de ori mai intens 40 dB, iar cel de o sută de mii de miliarde de ori mai intens (10^{14}) are 140 dB.

3. TIMBRUL

Timbrul este proprietatea care deosebește calitativ sunetul de aceeași înălțime și intensitate, însă produse de instrumente sau organe vocale diferite.

S-a arătat mai înainte că un corp sonor, vibrînd, poate produce o serie de oscilații sonore cu frecvențe proprii; el poate deci emite o serie de sunete, dintre care cel cu frecvența mai joasă se numește sunet fundamental. Sunetele de frecvență superioară, de obicei armonicile, adică cele de frecvență multiplă celei fundamentale, însoțesc sunetul fundamental și determină împreună cu el timbrul sunetului, produs de organul sau instrumentul considerat.

Timbrul sunetului depinde de numărul, înălțimea și intensitatea sunetelor de frecvență superioară produse de corpurile care vibrează.

Graficul din fig. 207 redă schematic componenta timbrului unui sunet.

4. REZONANȚA

Vibrațiile sonore produse de un corp elastic se pot transmite altuia prin intermediul mediului material care se află între ele.

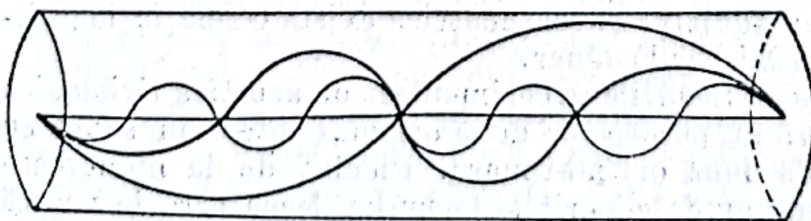


Fig. 207 — Schema vibrației fundamentale și a vibrațiilor armonice.

Cutia de lemn a viorii, pe care sînt înțese coardele, primește mișcarea vibratorie de la aceste coarde care vibrează. Dacă perioada de vibrații a cutiei de lemn corespunde

punde perioadei de vibrație a coardei sonore, se produce un fenomen de rezonanță: cutia de lemn uscat (numit și „lemn de rezonanță”) vibrează și ea, iar sunetul produs de cutie se suprapune sunetului produs de coardă, ceea ce are drept efect o întărire a sunetului. Sunetul dat de un diapazon se aude foarte slab când este ținut între degete; dacă așezăm piciorul diapazonului pe o cutie de lemn de brad uscat, sunetul diapazonului este foarte mult întărit și poate fi auzit de la distanță. Acest fenomen se numește *rezonanță prin contact*.

În audiometrie se utilizează fenomenul de rezonanță prin contact pentru controlul conducerii osoase, cu ajutorul unui diapazon aplicat în diferitele regiuni ale craniului.

Producând un sunet, de exemplu o notă scurtă și puternică la un violoncel, în fața unui pian deschis, se observă că începe să vibreze o coardă a pianului, și anume aceea care dă un sunet cu frecvența sunetului pe care l-a produs coarda de violoncel. Acest fenomen de rezonanță se numește *rezonanță prin aer*.

D. DIFRACTIA SUNETULUI

Unda sonoră, ajungind la un obstacol mai mic decât lungimea de undă a sunetului, ocolește obstacolul; raza sonoră, care unește izvorul sonor cu urechea, deci direcția de propagare a sunetului, nu mai este în acest caz o linie dreaptă. Schimbarea direcției de propagare a unei sonore se numește *difracția sunetului*.

La studiul general al mișcării oscilatorii am văzut cum principiul lui Huyghens explică fenomenul de difracție. Unda ajunsă la un perete și întâlnind în punctul de tangență o deschidere, centrul de vibrație pe care îl constituie acel punct produce la rândul său unde, care au centrul de vibrație în orificiul menționat. Pe această nouă undă, raza sonoră se propagă în toate direcțiile, așa că, de la centrul inițial de vibrații, prin orificiul menționat și pînă la diferitele puncte ale razelor, liniile sînt frunte, în loc să fie drepte.

La sunete, dacă vom considera din obstacol numai partea *AB* (fig. 208), vom vedea fenomenul petrecîndu-se ca și cum sunetul ocolește obstacolele ce-i stau în cale. Aceasta se observă mai ușor la sunetele care au lungimea de undă mare în raport cu dimensiunile obstacolului; în acest caz, sunetul ocolește obstacolul așa cum l-ar ocoli un lichid.

Dacă întrebuițăm un ecran de ordinul de mărime a lungimii de undă a sunetului respectiv sau dacă lucrăm cu lungimi mici de undă, adică cu sunete foarte înalte și utilizăm ecrane mari, obținem înapoia ecranului regiuni în care sunetul nu se aude de loc.

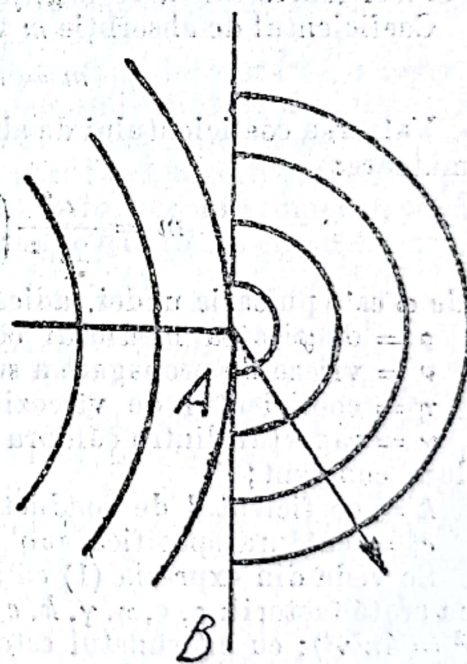


Fig. 208 — Difracția sunetului.

E. ABSORBȚIA SUNETULUI

Mediul în care se propagă sunetele aduce acestuia unele modificări cantitative. Aceste modificări sînt puse în evidență prin faptul că, depărtîndu-se de izvorul sonor, intensitatea sunetului scade.

În procesul de propagare a sunetului, intensitatea sonoră scade prin efectul următoarelor două fenomene:

- a) prin îndepărtarea de la sursa sonoră;
- b) prin absorbția de către mediul material pe care-l străbate sunetul.

La studiul intensității sunetului am arătat că undele sonore, care sînt sferice, răspîndindu-se din ce în ce mai departe în spațiu, aceeași cantitate de energie ajunge pe suprafețe din ce în ce mai mari, pe cînd urechea noastră, avînd suprafața de recepție de mărime constantă, cu cît este mai depărtată de izvorul sonor, primește energie de pe o porțiune mai mică a suprafeței de undă, deci energie mai puțină.

Într-un mediu foarte puțin absorbant, calculele și experiența arată că intensitatea unui sunet într-un punct dat este în raport invers cu pătratul distanței de la izvorul sonor la acel punct.

Absorbția sunetului a fost studiată încă din secolul trecut; teoria fenomenului a fost formulată de Stokes și Kirchhoff. Aceștia admit că absorbția sunetului de către mediu este pricinuită de risipirea energiei prin trei procese diferite: prin frecarea interioară, adică viscozitatea η a substanței, prin conductibilitatea termică c și prin radiația termică r ; aceasta din urmă, fiind de obicei foarte mică, se neglijează.

Coeficientul de absorbție m va avea deci valoarea:

$$m = m_{\eta} + m_c + m_r.$$

Valoarea coeficientului de absorbție m al sunetului este dată de expresia următoare:

$$m = \frac{\omega^2}{2\rho\nu^2} \left(\frac{4}{3} \eta - \frac{\gamma - 1}{\gamma} \cdot \frac{k}{c_v} \right), \quad (1)$$

unde ω este pulsația undei, adică $2\pi\nu$;

ρ = densitatea mediului considerat;

ν = viteza de propagare a sunetului în acest mediu;

η = coeficientul de viscozitate a mediului;

γ = raportul dintre căldura specifică sub presiune constantă și cea sub volum constant;

k = coeficientul de conductibilitate termică;

c_v = căldura specifică sub volum constant.

Se vede din expresia (1) că absorbția sunetului depinde de mediu, așa cum arată factorii: ρ , ν , η , γ , k , c_v , și crește cu ω^2 , deci cu pătratul frecvenței ($\omega^2 = 4\pi^2\nu^2$); cu cît sunetul este mai înalt, cu atît parcurge o distanță mai mică pînă ce este absorbit complet.

Pentru aer, coeficientul de absorbție m are valoarea:

$$m_{aer} = 2,2 \times 10^{-13} \nu^2 = 2,32 \times 10^{-4} \times \frac{1}{\lambda^2};$$

pentru apă, are o valoare mai mică, și anume

$$m_{apa} = 2,7 \times 10^{-16} \nu^2 = 5,20 \times 10^{-6} \times \frac{1}{\lambda^2},$$

iar pentru corpurile solide, coeficientul are valori și mai mici.

Experiența verifică faptul că, în corpurile lichide, sunetul se propagă la distanțe mai mari decât în gaze, iar în corpurile solide, la distanțe mai mari decât în lichid.

În tabelul 31 sînt redați cîțiva coeficienți de absorbție a sunetului (pe m^2 de suprafață absorbantă).

Tabelul 31

Coeficienți de absorbție

Obiectul care absoarbe sunetul	Coeficientul de absorbție pe 1 m^2 suprafață absorbantă
Fereastră deschisă	1,000
Pisla de lînă	0,550
Covoare groase	0,300—0,200
Perdele	0,230
Plută în strat de 2,5 cm pe podea	0,160
Linoleum așternut pe un substrat dur	0,030
Perete de cărămidă	0,032
Sticlă de grosime uniformă	0,027
Perete de cărămidă, vopsit	0,017
Beton	0,015

În legătură cu absorbția sunetelor, trebuie arătat că valoarea practică a unei reverberații constă în faptul că orice impuls sonor — de exemplu pronunțarea unei silabe care reprezintă o serie de oscilații — acționează asupra urechii sau microfonului, nu numai direct, ci și după o serie întreagă de reflexii pe suprafețele care limitează încăperea, unde au loc fenomenele menționate.

Într-o sală de cursuri, de conferințe, de teatru, de concerte, o reverberație corect aleasă dă impresie de plenitudine a sunetului, și deci de sonoritate. O reverberație mică, datorită unei absorbții puternice, face ca sunetul să apară neînsuflețit, ca și cum ar cădea în gol. Dacă reverberația este prea mare, datorită unei absorbții foarte mici, ea introduce un zgomot neplăcut, care se transformă uneori în ecou, și face ca audiția să fie confuză.

III. ELEMENTE DE ELECTROACUSTICĂ

Electroacustica este o ramură relativ nouă a acusticii. Ea formează legătura dintre unele fenomene acustice și fenomenele electrice.

Electroacustica cuprinde metodele și procedeele electrice de măsurare a caracteristicilor sunetului, de amplificare, de înregistrare și reproducere, în general de transformare a energiei vibrațiilor sonore în energie electrică și de retransformare a acesteia în energie sonoră.

În medicină, electroacustica aduce metode de examinare (stetoscopie electrică), de întărire a auzului (microfoane electrice), de transmitere a sunetelor amplificate produse în decursul studiilor medicale (cardiofonie), de înregistrare pe filme sau pe bandă de magnetofon etc.

A. ÎNREGISTRAREA ȘI REPRODUCEREA SUNETELOR

Un domeniu în care electroacustica s-a dezvoltat foarte mult, aducînd în slujba culturii maselor și în serviciul științei o tehnică înaintată, este înregistrarea și reproducerea sunetului. Pe această cale se pot păstra și reproduce

folclorul muzical, creația muzicală și artistică, se pot face cercetări medicale privind audia și fonația, se pot amplifica sunetele și zgomotele fiziologice.

O metodă care a precedat înregistrarea și reproducerea electrică și care a stat la baza acesteia a fost metoda mecanică. În cadrul acestei metode vom descrie câteva procedee de înregistrare și reproducere a sunetelor.

1. ÎNSCRIEREA GRAFICĂ A SUNETELOR

Pentru a putea studia frecvența și amplitudinea unui sunet s-a folosit în secolul trecut, și uneori se folosește și acum înscrierea grafică a vibrațiilor sonore.

Dacă folosim ca instrument sonor un diapazon, acest mod de înregistrare se face astfel: de una din ramurile diapazonului care produce sunetul este sudat un ac înregistrator: acesta este aplicat pe un cilindru metalic acoperit cu negru de fum sau cu hîrtie afumată. Cilindrul este pus în mișcare de rotație în jurul axei sale, cu ajutorul unui mecanism de ceasornic sau al unui motor electric. Vibrațiile transversale ale diapazonului, compunîndu-se cu mișcarea de rotație a cilindrului, determină o desfășurare a vibrației, acul înregistrînd pe cilindru o sinusoidă. Dacă avem un alt diapazon paralel cu primul și care înregistrează pe cilindru secunda, putem confrunța cele două înscrieri și să determinăm astfel numărul de vibrații făcute de diapazon pe secundă. De asemenea se poate aprecia amplitudinea sunetelor înregistrate, comparîndu-le cu înregistrările altor sunete, a căror amplitudine se cunoaște.

Aparatul cu care se fac acest fel de înregistrări se numește kimograf; el este folosit și pentru înregistrarea altor fenomene oscilatorii (îndeosebi în fiziologie: contracții musculare, puls etc.). Înscrierea mecanică cu ajutorul kimografului nu este reversibilă. Ea permite numai analiza fenomenului oscilator înregistrat, dar nu și reproducerea lui.

În acustică, cele mai importante înregistrări sînt cele reversibile. Ele alcătuiesc un capitol relativ nou, cunoscut sub numele de „înregistrarea reversibilă a sunetului”.

Înregistrarea reversibilă a sunetului se poate face pe mai multe căi: pe cale mecanică, electromecanică, optică, magnetică.

2. ÎNREGISTRAREA ȘI REPRODUCEREA MECANICĂ A SUNETULUI

Cea dintîi metodă de înregistrare și reproducere a sunetelor a fost cea mecanică.

Dintre aparatele mecanice de înregistrare și reproducere a sunetului, menționăm fonograful și gramofonul.

a) **Fonograful.** În dezvoltarea istorică a înregistrării și reproducerii sunetului, cea mai veche realizare în acest domeniu a fost *fonograful*, inventat de T. A. Edison în 1877. Principiul fonografului este cunoscut. Producînd un sunet (fig. 209) în fața unei membrane elastice de care se află sudat un ac, membrana vibrează în ritmul sunetului și acul înscrie pe un sul cilindric sau pe un disc circular de material plastic vibrațiile sub formă de șanțuri. Fonograful lui Edison înregistra aceste șanțuri pe un cilindru acoperit de o foaie de staniol; acest cilindru avea o mișcare de rotație uniformă în jurul axei lui, înaintînd ca un șurub. Pe o porțiune de șanț, parcursă de acul înregistrător în unitatea de timp, se aflau înregistrate mai multe adîncituri dacă sunetul era mai înalt, iar aceste adîncituri erau mai adînci dacă sunetul era mai intens.

Această înscrisoare este reversibilă: reaşezind acul la începutul şanţului şi dând aceeaşi mişcare cilindrului cu ajutorul unei manivele sau cu un arc, acul prins de membrana elastică este silit să facă pe secundă acelaşi număr de vibraţii, iar acestea se vor transmite membranei. Membrana, vibrând, va reproduce sunetul care fusese înscris pe cilindru.

Sunetul astfel reprodus este extrem de slab: de aceea, în primele timpuri ale fonografului, vibraţiile membranei erau ascultate cu un dispozitiv biauricular, în genul stetoscopului medical.

b) **Gramofonul.** Aparatul de înregistrat şi reprodus sunetele a fost perfecţionat mai târziu prin înlocuirea foiţei de staniol cu un cilindru de ebonită, dar sunetele erau redată foarte slab.

Ulterior, o dată cu introducerea discului de ebonită pe care-l folosim şi azi, amplificarea s-a făcut pe cale pneumatică, cu ajutorul unei pilnii; acest aparat a fost numit gramofon. Amplificarea pneumatică permite difuzarea sunetului într-o încăpere relativ mare, pentru a putea fi ascultat de mai mulţi auditori deodată.

Amplificarea pneumatică constă în faptul că vibraţia sonoră a unei membrane de suprafaţă S , relativ mare (fig. 210), se transmite prin comprimarea şi dilatarea corespunzătoare a aerului din capsula gramofonului trecând într-un tub de diametru mai mic s ; astfel, fiecare comprimare Δp a aerului pe o suprafaţă S produce o presiune $S \Delta p$ asupra aerului din tubul care merge spre pilnia difuzorului.

În acest tub, presiunea $S \Delta p$ se exercită pe o suprafaţă mică s şi comprimarea devine P , deci presiunea va fi P_s . Vom avea deci:

$$S \Delta p = P_s.$$

Factorul de amplificare a sunetului are deci valoarea aproximativă a raportului dintre pătratul razei membranei elastice şi pătratul razei tubului care merge spre difuzorul metalic în formă de pilnie.

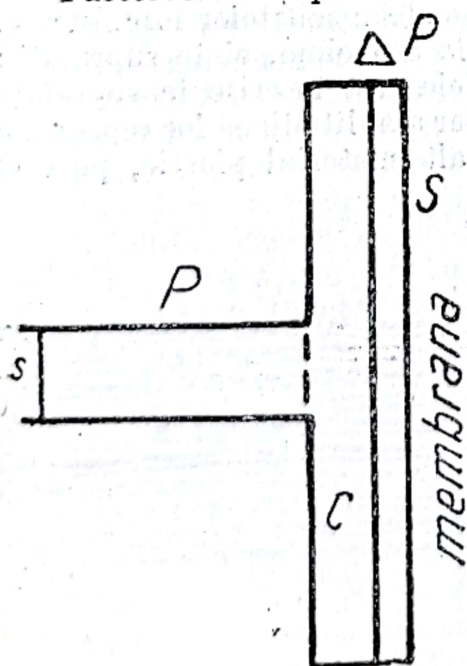


Fig. 210 — Amplificarea pneumatică a sunetelor la gramofon.

Difuzorul metalic introducând vibrații armonice care acoperă sunetul fundamental, s-a construit pe la 1910 gramofonul cu cutie de rezonanță de lemn, care dă armonici plăcute la ascultat și amplifică în același timp sunetele prin fenomenele acustice cunoscute. În locul acului de oțel pentru reproducere, s-a folosit un rubin sau un safir ascuțit, care este foarte dur și se tocește foarte greu, așa că nu trebuie schimbate mereu acele. Aceste aparate sînt cunoscute sub numele de patefoane, după numele unuia din constructori. Fig. 211 arată o secțiune de-a lungul unui șanț de pe o placă de gramofon.

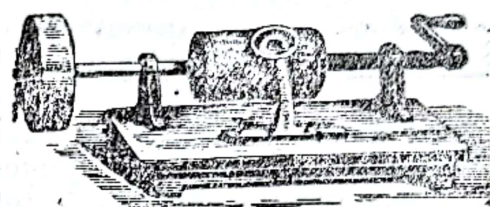


Fig. 209 — Fonograful în prima lui formă (Edison).

3. IMPRIMAREA ȘI REPRODUCEREA ELECTROMECHANICĂ A SUNETELOR

În 1917, o dată cu introducerea în tehnica radiofonică a lămpilor triode, au fost electrificate înregistrarea și reproducerea sunetelor.

Înregistrarea electromecanică a sunetelor se face cu ajutorul unui montaj alcătuit dintr-un microfon, un bloc de amplificare cu tuburi electronice și un dispozitiv electromagnetice de înregistrare, pe o placă de material plastic, a vibrațiilor amplificate.

Microfonul este alcătuit dintr-o capsulă care conține granule de cărbune (grafit) de diferite dimensiuni, proporția fiind calculată special pentru a corespunde vibrațiilor sunetelor obișnuite. Vorbind în fața membranei microfonului, contactul dintre granulele de cărbune ale microfonului variază în ritmul vibrațiilor membranei și deci și al sunetului produs. Microfonul fiind conectat într-un circuit electric, modificările contactelor dintre granulele de cărbune fac să varieze rezistența

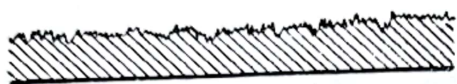


Fig. 211 — Secțiune printr-un disc de gramofon.

circuitului; după legea lui Ohm variază deci și intensitatea curentului din circuitul microfonului.

Acești curenți, care au în fiecare moment altă intensitate, sînt amplificați cu ajutorul tuburilor electronice, iar curenții amplificați trec prin bobina unui electromagnet. În fața electromagnetului se află piesa care poartă acul de înregistrare. Electromagnetul atrage acul în ritm mai rapid sau mai lent, după frecvența sunetului și cu o forță mai mare sau mai mică, după intensitatea sunetului. Acul înscrie astfel diferite șanțuri pe discul de material plastic, ce se învîrtește în fața dispozitivului de înregistrare.

Înscrierea în adîncime (fig. 211) nu a dat rezultate bune: la fiecare reproducere, acul, trecînd peste regiunile de înălțime maximă, le teșea și, căzînd din cauza gravitației cu o anumită energie cinetică în șanț, îl adîncea, provocînd astfel o deformare în partea doua a șanțului din cauza mișcării înainte a acului; după cîtva timp, șanțurile care reprezentau înscrierea erau astfel deformate încît nu mai corespundeau sunetelor înregistrate.

De aceea, înregistrările nu se mai fac în adîncime, ci în suprafață; șanțurile au aceeași adîncime, însă sinusoidale sînt înscrise în suprafață (fig. 212); desimea lor reprezintă frecvența, iar amplitudinea lor reprezintă intensitatea sunetului. Placa de ceară sau alt material plastic, pe care se face înregistrarea sunetului, trebuind să folosească la fabricarea a sute și mii de plăci care să fie răspîndite pretutindeni, se procedează în acest scop în modul următor: placa de ceară pe care s-a făcut înregistrarea, avînd șanțuri, să o numim *negativ*; ea se acoperă cu un strat de grafit care o face bună conducătoare de electricitate și se depune pe ea, prin electroliză, un strat de cupru electrolitic. Placa de cupru cuprinzînd dungile în relief, în locul șanțurilor, este deci un *pozitiv*. După acest pozitiv se face

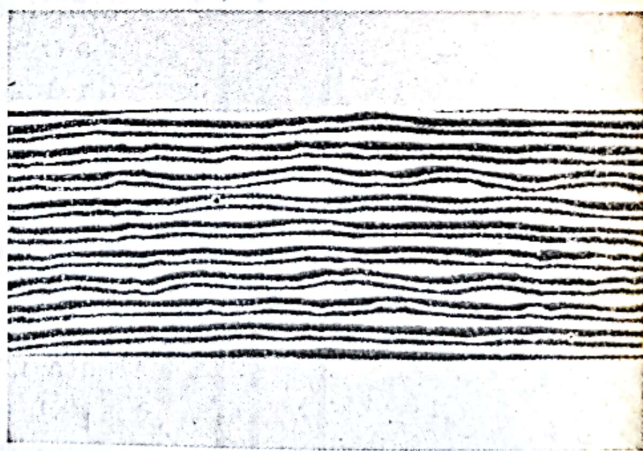


Fig. 212 — Microfotografia unei porțiuni de disc (ondulațiile sînt laterale).

un negativ de metal dur, iar după acest negativ se fabrică un pozitiv de asemenea de metal dur (oțel), numit *matriță*, care servește la imprimarea discurilor de ebonită, ce devin astfel discuri de gramofon.

Cu aceste discuri, reproducerea electromecanică se face folosind un dispozitiv numit doză electromagnetică (picup). Mecanismul reproducerii este următorul: acul dozei electromagnetice urmează șanțurile discului și deci este pus în vibrație de acestea. Mișcările lui vibratorii se fac în ritmul sunetului înregistrat; ele fac să varieze intensitatea cîmpului unui magnet în jurul căruia trece un conductor. Modificările cîmpului magnetic produse prin deplasarea acului produc curenți de inducție în conductorul din jurul magnetului; acești curenți sînt amplificați cu ajutorul tuburilor electronice și trimiși la un difuzor la fel cu cel al aparatului de radio, adică constituit dintr-o membrană elastică acționată de un electromagnet în ritmul curențului sosit de la amplificare, în bobina acestui electromagnet.

Sunetele sînt redată puternic amplificate. Amplificarea electrică face ca reproducerea să nu mai aibă zgomotele de fond pe care le are gramofonul obișnuit, cu înregistrare și reproducere mecanică. Variind amplificarea, se pot obține audiții puternice și clare.

4. FILMUL SONOR

Înregistrarea optică a sunetelor se face transformîndu-se vibrațiile acustice în vibrații luminoase. Această metodă de imprimare și reproducere a apărut din necesitatea unei perfecte sincronizări în cinematografie a sunetelor cu imaginile cărora le corespund aceste sunete.

Pentru înregistrarea fotografică a sunetelor se folosesc două categorii de procedee: procedeele cu intensitate constantă și cele cu intensitate variabilă.

a) **Înregistrarea cu intensitate constantă.** Prin această categorie de procedee se obține pista sonoră de intensitate luminoasă constantă, dar care are suprafață variabilă. Unul din aceste procedee, mai întrebuițat, este următorul: curențul microfonic, amplificat printr-un montaj de amplificare cu tuburi electronice, ca în procedeele descrise anterior, acționează oglinda unui galvanometru foarte sensibil (fig. 213). Firul metalic care poartă oglinda deviază în ritmul frecvenței sunetului, iar unghiul de rotație este în funcție de intensitatea curențului microfonic amplificat. De la un puternic izvor luminos cade pe oglindă o rază de lumină, care este reflectată pe o fantă îngustă, înapoia căreia se desfășoară filmul, într-o cameră fotografică.

Lumina adusă de deviația oglinzii acoperă în fiecare fracțiune de secundă deschiderea fantei, mai mult sau mai puțin, după intensitatea sunetului înregistrat. Pe o lungime de film care trece într-o secundă prin aparat se vor înregistra vîrfuri în forma unor dinți de ferăstrău; prin numărul lor pe secundă, acești dinți de ferăstrău redau frecvența sunetului, iar prin

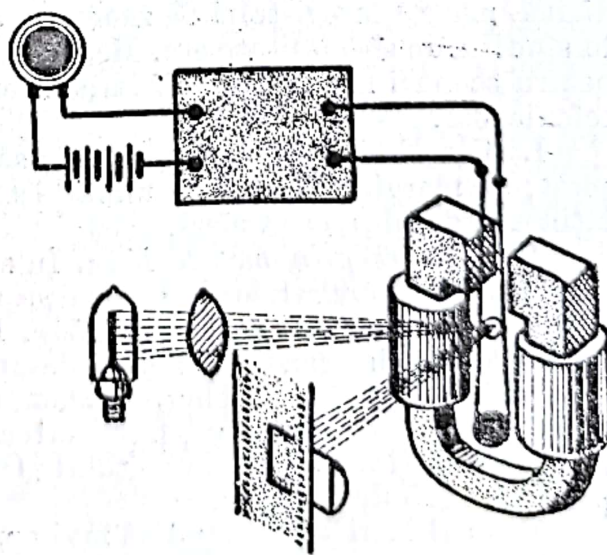


Fig. 213—Schema aparatului de înregistrare a sunetelor cu ajutorul oscilografului cu oglindă.

lungimea lor arată intensitatea sunetului. Filmul sonor (sau pista sonoră a filmului cinematografic) obținut cu ajutorul galvanometrului, devenit astfel oscilograf, are aspectul unor dinți de ferăstrău de lungime variabilă și de grosime de asemenea variabilă, dar a căror culoare este aceeași; negru pe de o parte, străveziu pe de alta. Linia în zig-zag care desparte cîmpul negru de cel străveziu este foarte netă. Procedul se numește cu *intensitate constantă* sau cu *suprafață variabilă*, fiindcă filmul, privit printr-o fantă îngustă, în fiecare interval elementar de timp, prezintă numai două culori, negru și alb străveziu.

b) **Înregistrarea cu intensitate variabilă.** Din această categorie vom descrie, pe scurt, în primul rînd, procedul de fotografiere cu ajutorul unui *tub luminiscent*.

Curentul microfonic obținut și amplificat, ca în procedul descris mai înainte, alimentează un tub luminiscent; acest tub cu descărcare în gaze rarefiate are o inerție luminoasă foarte mică, adică păstrează numai timp de 10^{-8} dintr-o secundă lumina după ce a încetat curentul, așa că se poate admite că practic nu are inerție; această lumină se poate deci modula foarte ușor, tubul devenind luminiscent de foarte multe ori pe secundă, în ritmul frecvenței vibrațiilor sonore. De asemenea, la sunetele de intensitate variabilă, tubul luminiscent dă o lumină de intensitate variabilă, în funcție de variațiile intensității curentului și deci ale intensității sunetului.

Dacă lumina tubului cade pe o fantă îngustă, înapoia căreia se desfășoară, într-o cameră obscură, un film cinematografic, acest film va fi impresionat, pe o lungime care trece într-o secundă prin aparat, de numărul de aprinderi ale lămpii, separate între ele de perioada de neaprindere. Pe film vom avea deci benzi luminoase și benzi întunecoase, care reprezintă frecvența sunetului; benzile vor fi de intensitate luminoasă mai puternică sau mai slabă, începînd de la alb (complet transparente) pentru intensitatea maximă a sunetului, trecînd prin toată gama de cenușiu și ajungînd pînă la negru pentru intensitatea zero a sunetului.

Dungile care reprezintă fotografiile sunetului, și a căror intensitate luminoasă este variabilă, au pe film aceeași lățime; suprafața rezervată pe film sunetului are o lățime constantă.

Dacă dungile sonore ocupă întreaga lățime a filmului, înregistrările sînt exclusiv sonore, fără vederi. Astfel de filme se întrebuintează și în medicină, pentru înregistrări de zgomote auscultatorii, de elemente de fonație în studiile de specialitate etc. Metodele de utilizare a înregistrărilor pe film pentru scopuri medicale au primit diferite numiri: fonostetografie, telestetofonie etc.

La filmul cinematografic, liniile sonore sînt de obicei fotografiate micșorat, pe marginea filmului, unde pista sonoră ocupă o anumită parte din lățimea filmului cu vederi.

Înregistrări prin metoda Kerr. În aparatele moderne de cinematografie, înregistrările fotografice de sunete pe film se fac cu ajutorul fenomenului cunoscut sub numele de *efectul Kerr*. La baza fenomenului stă faptul că, într-un cîmp electric, unele lichide devin birefringente, adică o rază de lumină naturală care trece prin ele se descompune în două raze polarizate: una ordinară și alta extraordinară, întocmai ca prin cristalele de spat de Islanda (polarizarea va fi studiată în capitolul „Optica”). Acest fenomen a fost descoperit în 1875 de J. Kerr.

Efectul Kerr a fost studiat mai amănunțit între 1930 și 1940, cînd s-a reușit să se descopere fenomenul dublei refracții sub acțiunea unui cîmp electric și la gaze (Stuart).

O descriere sumară a efectului Kerr arată modul de aplicare a acestui fenomen la modularea electrică a luminii, practic fără inerție.

Pentru a putea observa efectul Kerr la lichide, se așază între nicolii încrucișați ai unui aparat de polarizare un vas paralelipipedic, în care sînt introduse două plăci ale unui condensator plan. Dacă nu este aplicată o tensiune electrică condensatorului plan din „celula Kerr”, lumina nu trece prin aparat, nicolii fiind așezați la extincție. La aplicarea cîmpului electric, lichidul dintre plăcile condensatorului devine birefringent, lumina trece și poate fi studiată și utilizată.

Efectul Kerr se explică prin acțiunea de orientare a cîmpului electric asupra moleculelor anizotrope ale lichidelor. Timpul în care moleculele se orientează în cîmpul electric este extrem de mic (10^{-9} — 10^{-10} s), și în același interval de timp moleculele revin la starea neorientată, după ce a încetat acțiunea cîmpului electric.

Timpul extrem de scurt în care apare și dispare dubla refracție, după instalarea și încetarea acțiunii cîmpului electric, permite utilizarea celulei Kerr ca obturator fără inerție, în experiențele de măsurare (de exemplu, a vitezei luminii), iar în cinematografie, la modularea fără inerție a luminii de către oscilațiile sonore, amplificate (prin dispozitivele menționate în procedeele de fotografiere a sunetelor descrise anterior) și transformate în oscilații electrice. Inerția lămpii cu descărcare în gaz rarefiat este de 10^{-8} s, iar a oscilografului cu oglindă este mai mare; celula Kerr oferă deci avantaje mai mari la înregistrarea sunetelor pe cale fotografică.

Experiența arată că, pentru o lumină monocromatică de lungime de undă λ , diferența dintre indicele de refracție n_o al razei ordinare și indicele de refracție n_e al razei extraordinare este proporțională cu pătratul intensității E a cîmpului electric, iar diferența de fază Δ care apare între raza ordinară și cea extraordinară are valoarea

$$\Delta = B \cdot l \cdot E^2,$$

unde E este valoarea cîmpului, l este grosimea stratului de lichid, iar B este o constantă, numită *constantă lui Kerr*, și care depinde de natura lichidului. Dintre toate lichidele, nitrobenzenul are cea mai mare constantă Kerr ($B = 2 \cdot 10^{-5}$ CGSEs).

Frecvența vibrațiilor sonore, chiar a celor mai înalte, poate fi urmărită cu ușurință și fără inerție prin această metodă, iar modularea intensității luminoase a unui izvor puternic de intensitate constantă se face de asemenea cu ajutorul celulei Kerr, al cărei condensator este alimentat de un curent modulat de curentul microfonic amplificat.

Datorită vitezei extraordinare de apariție și dispariție a birefringenței, efectul Kerr este utilizat, nu numai în cinematografie, ci și în televiziune, în cercetări științifice și tehnice. Azi, metoda Kerr este cea mai folosită pentru înregistrările sonore pe film.

În fig. 214 sînt redată cîteva din înregistrările pe film, cu intensitate constantă și cu intensitate variabilă.

c) **Reproducerea sunetelor fotografiate pe film.** În ambele categorii de înregistrări, atît în cele cu intensitate variabilă, cît și în cele cu suprafață variabilă, reproducerea sunetelor se face pe cale fotoelectrică. Se folosește în acest scop un montaj care cuprinde o celulă fotoelectrică.

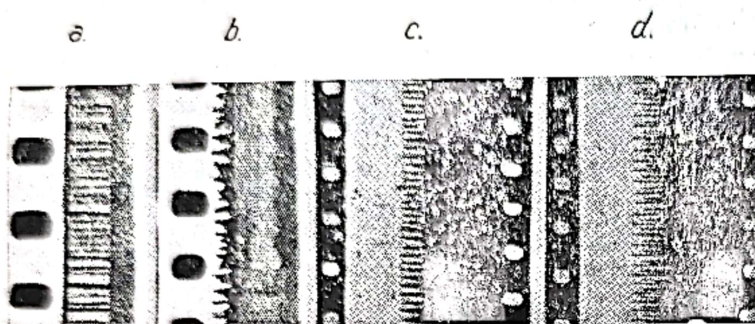
Aparatul de reprodus sunetul se compune dintr-un izvor de lumină puternic și de intensitate constantă, care luminează printr-un sistem optic pista sonoră. Filmul rulează în fața unei fante înguste. Lumina izvorului menționat, trecînd printr-o dungă de culoare mai închisă a unei înregistrări

cu intensitate variabilă, va fi absorbită mai mult; va trece astfel mai puțină lumină spre celula fotoelectrică aflată în cealaltă parte a filmului, închisă într-o cameră obscură, în al cărei perete este practică fanta. Dacă dunga va fi complet străvezie, va trece prin ea cantitatea maximă de lumină.

Celula fotoelectrică va primi astfel în fiecare fracțiune de timp o cantitate mai mică sau mai mare de lumină, care, smulgând un număr mai mare sau mai mic de electroni, va transforma astfel energia luminoasă într-un curent de intensitate mai mare sau mai mică, potrivit legilor fenomenului fotoelectric, ce se vor examina la capitolul de fizică a atomului.

Dacă într-o secundă vor trece de exemplu 300 de dungi în fața celulei fotoelectrice, se produce un curent fotoelectric cu frecvența 300 Hz.

Curentul fotoelectric produs astfel în ritmul și intensitatea înregistrărilor de pe film este amplificat printr-un dispozitiv cu lămpi electronice și trimis la un difuzor pe al cărui electromagnet purtător de membrană sonoră îl acționează, reproducând astfel sunetul înregistrat.



a — cu densitate variabilă; b — cu lungimea variabilă (pe film cu vederi); c — film de sunete (înregistrare cu lungime variabilă a unui sunet simplu); d — film de sunete (sunet compus).

Fig. 214 — Înregistrare pe film.

trece printr-un element din film de formă dreptunghiulară, alcătuit dintr-o suprafață complet neagră și una complet străvezie. În fiecare moment, raportul dintre mărimile acestor două segmente este altul. Lumina trece deci în cantitate mai mare sau mai mică spre celula fotoelectrică prin partea străvezie, și aceasta determină intensitatea curentului fotoelectric care ia naștere în acel timp elementar.

Numărul de „dinți de ferăstrău” care trec pe secundă prin fața fantei dă frecvența sunetului.

5. MAGNETOFONUL

În ultimii ani s-a realizat și perfecționat înregistrarea și reproducerea magnetoelectrică a sunetelor. Dispozitivul este cunoscut sub numele de magnetofon (fig. 215).

Principiul acestei metode este următorul: vibrațiile sonore sînt transformate de microfon în variații de intensitate în circuitul electric, iar acestea sînt amplificate cu ajutorul dispozitivului de amplificare cu tuburi electronice, ca la metodele descrise anterior. Într-o bobină, curentul creează un cîmp magnetic variabil, care magnetizează variabil o piesă de oțel numită cap de magnetizare. Dacă în fața acestui cap de magnetizare se desfășoară cu o viteză destul de mare un fir de oțel sau o bandă de oțel, fiecare regiune elementară care trece prin fața electromagnetului se magnetizează în mod diferit: sînt magnetizate mai puternic regiunile cînd curentul microfonic amplificat a fost mai intens și, invers, sînt magnetizate mai slab cînd curentul a fost mai slab. Numărul de magnetizări ce se fac pe firul sau banda de oțel, pe o lungime care trece pe secundă prin fața capului de magnetizare, reprezintă frecvența sunetului.

Firul sau banda [fiind de oțel, magnetizarea este remanentă.

Dacă firul de oțel sau panglica de oțel pe care am înregistrat pe această cale sunetele se trece prin fața unui magnet numit cap de citire, cîmpul magnetic al acestuia variază în fiecare element de timp, după cum trece prin fața magnetului o regiune mai mult sau mai puțin magnetizată a benzii sau a firului de oțel. Variația intensității cîmpului magnetic dă naștere la curenți de inducție în bobina care înconjură magnetul. Acest curent, cu intensitatea și frecvența variabilă, este amplificat și redă în difuzor sunetele, ca și în metodele pe care le-am descris mai înainte.

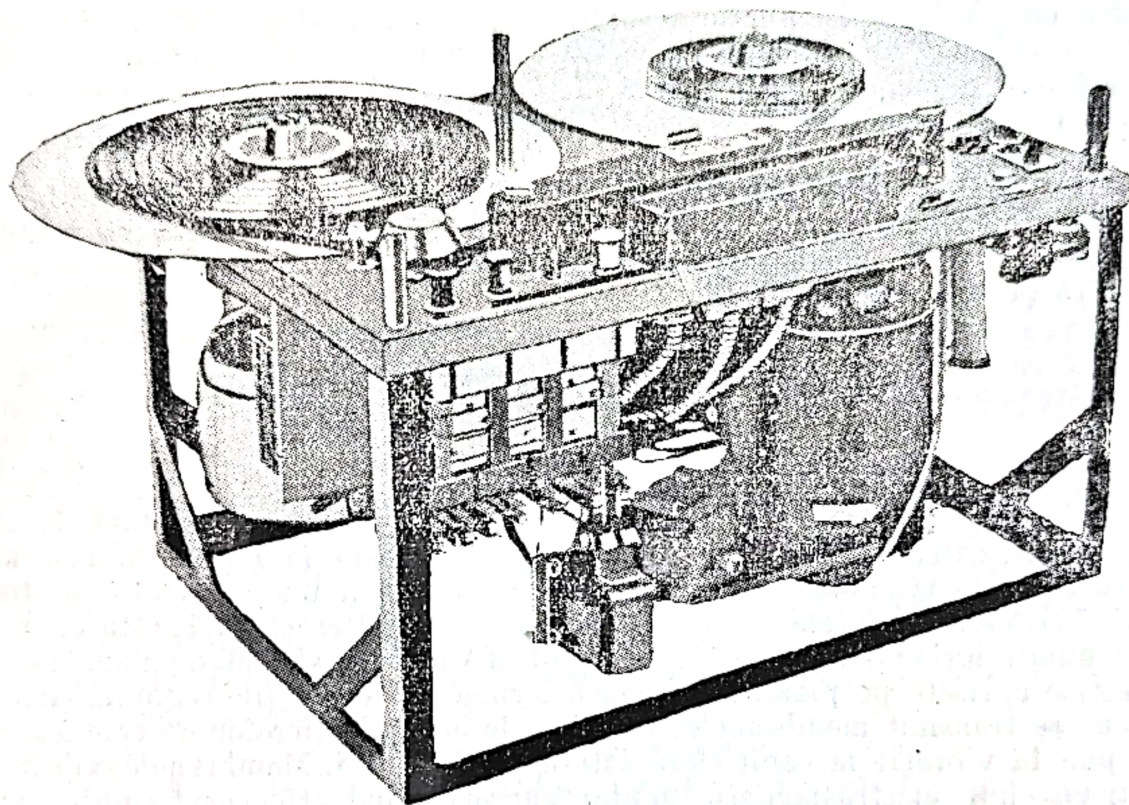


Fig. 215 — Magnetofon cu bandă.

Din cauza mînuirii greoaie a firului de oțel sau a panglicii de oțel, s-a realizat înregistrarea sunetelor pe o bandă de substanță plastică cu o lățime de aproximativ 1 cm și în care se află încorporată o pulbere de oxid de fier (Fe_2O_3 ori Fe_3O_4) într-un strat gros de 15μ . Oxidul de fier are rolul firului de oțel.

Avantajele metodei de înregistrare magneto-electrică sînt numeroase: în primul rînd, reproducerea se face direct de pe banda pe care a fost înregistrat sunetul și imediat după terminarea înregistrării, fără nici o prelucrare a benzii de magnetofon (fig. 216).

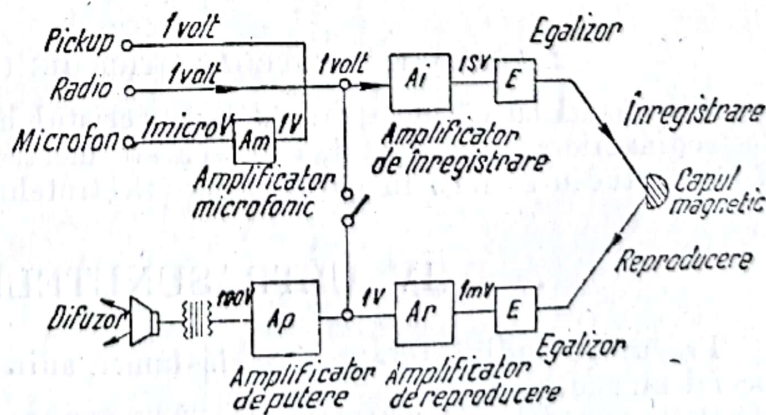


Fig. 216—Schema înregistrării și reproducerii sunetului prin magnetofon.

Banda de magnetofon este foarte rezistentă la uzură. În timp ce pelicula de gelatinobromură de argint care cuprinde fotografia sunetului pe film se roade sau se detașează, provocând astfel alterarea sunetului, banda de magnetofon poate rula de peste o mie de ori fără a se altera simțitor. Ea este ușor transportabilă și nu cere instalații mari pentru înregistrare și reproducere.

Se pot face decupaje și montaje, înregistrând separat și montând împreună diferite producții pentru a realiza o piesă, producție muzicală etc. Se poate înregistra emisiunea de radio și reproduce la timpul dorit. Dacă înregistrarea își pierde actualitatea, ea poate fi ștearsă cu ajutorul unui dispozitiv numit cap de ștergere, aflat într-un circuit de înaltă frecvență care demagnetizează banda de magnetofon, adică anulează toate înregistrările anterioare; pe această bandă se poate face apoi o nouă înregistrare.

În afară de rolul cultural general, magnetofonul este folosit și la înregistrări de interes practic, științific, a corespondenței, convorbirilor etc. În ultima vreme, magnetofonul este întrebuințat și la înregistrări de natură clinică și didactică medicală.

B. ALTE APARATE ELECTROACUSTICE

1. LARINGOFONUL

Un dispozitiv a cărui funcționare este legată de nevoia unei bune audiții în cască sau difuzor a unei emisiuni făcute la microfon, într-un mediu foarte zgomotos, cum este carlinga unui avion, unde zgomotele motorului acoperă cuvintele celui care transmite anumite comenzi, este aparatul numit laringofon. Acesta este compus dintr-un sistem de membrane elastice aplicate pe piele, în regiunea laringelui. Vibrațiile regiunii laringiene se transmit membranelor elastice ale acestui microfon de contact și le pun în vibrație mecanică fără intermediul aerului. Membranele, vibrând într-un cimp electromagnetic, produc curenți de inducție, care, amplificați și transmiși electromagnetului unui difuzor sau al unei căști, sînt retransformați în sunete; astfel, la recepție, vibrațiile mecanice ale căștilor redau vibrațiile laringelui sub formă de sunete.

Microfonul de contact, care stă la baza laringofonului, este folosit și la înregistrarea zgomotelor respiratorii și ale cordului pe bandă de magnetofon.

2. APARATE ELECTROACUSTICE DE UZ GENERAL]

Microfonul cu cărbune, microfonul cu cristal, difuzorul electromagnetic, electrodinamic sau cu cristal, sînt aparate electroacustice de uz general, al căror studiu se face în cursurile de electrotehnică și radiotehnică.

IV. ULTRASUNETELE

Pragul de audibilitate variază în lumea animală și chiar în interiorul speciei umane.

Problema determinării precise a acestui prag a format preocupările medicilor și fizicienilor în secolul trecut. Cu ajutorul sonometrului s-a putut determina frecvența vibrațiilor mecanice care pot fi auzite de om.

Numeroase cercetări au arătat că urechea omului normal este sensibilă, în medie, la frecvențele cuprinse între limita inferioară de 16 Hz și limita superioară de 16 000 Hz, adică omul poate percepe o gamă de aproape „10 octave”. După unii cercetători, limita superioară ar atinge chiar aproximativ 20 000 Hz.

Ultrasunetele sînt vibrații mecanice de frecvență mai mare decît cea care poate fi percepută de urechea omului sub formă de sunet. Ele acoperă un larg domeniu de frecvențe, cele cu frecvență mai mare avînd lungimea de undă de ordinul micronilor, deci de mărimea radiațiilor electromagnetice din domeniul vizibil.

Acestei lungimi mici de undă i se datorează însușirile speciale ale ultrasunetelor. Însușirile lor mai sînt legate și de faptul că, avînd frecvența foarte mare, emisiunea lor se poate face cu energii vibratorii considerabile.

A. PRODUCEREA ULTRASUNETELOR

1. ULTRASUNETE ÎN NATURĂ

Experiența făcută în legătură cu auzul unora dintre animale a arătat că pragul superior de audibilitate atinge la cîini și pisici circa 40 kHz. S-au făcut de asemenea observații în legătură cu sunetele percepute de insecte.

Cel mai interesant caz este însă cel al liliacului, studiat încă acum 170 de ani de naturalistul și fiziologul L. Spallanzani (1729 — 1799) și explicat în 1942 de R. Galambos.

Studiindu-se modul de orientare a liliacului în întuneric, s-a observat că, acoperind ochii acestui mamifer zburător, el se orientează ca și cînd ochii lui ar fi neacoperiți; acoperindu-i-se însă urechile, liliacul nu se mai poate orienta. Fenomenul a fost pus în legătură cu perceperea ultrasunetelor din natură.

2. PRODUCEREA MECANICĂ A ULTRASUNETELOR

Ultrasunetele se pot produce prin mai multe procedee: mecanice, termice, magnetice, piezoelectrice.

Procedeul mecanic cel mai simplu de a produce ultrasunete este punerea în vibrație a unei lame de oțel sau a unui diapazon. Acest diapazon, pentru a produce vibrații atît de numeroase încît să nu mai poată fi auzite, trebuie să aibă ramurile foarte mici.

S-a determinat, încă la finele secolului trecut, lungimea unei lame de oțel ale cărei vibrații nu mai pot fi auzite, deci care dau ultrasunete. O lamă de oțel se fixează la mijocul ei într-o menghină (fig. 217) și se pune în vibrație prin

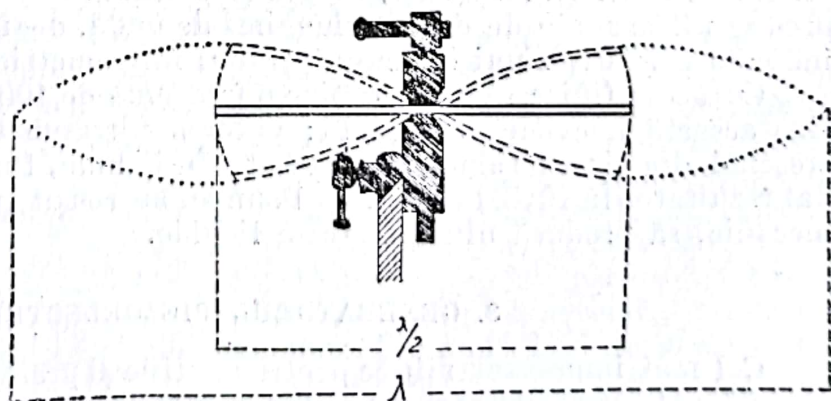


Fig. 217 — Vibrațiile unei lame de oțel de 10 cm dau ultrasunete ($\nu = 25$ kHz).

frecare sau lovire; ea vibrează astfel încît lungimea de undă fundamentală a vibrației este dublul lungimii lamei. Aplicînd formula $\lambda = V \nu$, în care considerăm viteza sunetului în oțel $V = \sim 5\,000\text{ m/s}$ și $\nu = 25\,000\text{ Hz}$, ultrasunetele vor avea lungimea de undă $\lambda = 5\,000 / 25\,000 = 0,2\text{ m}$. Lungimea lamei va fi $1/2$ din $0,2\text{ m}$, adică $0,1\text{ m}$.

Vibrațiile unei lame de oțel de 10 cm , fixată la mijloc într-o men-ghine, dau deci ultrasunete cu $\nu = 25\text{ kHz}$.

Cu ajutorul unor coarde foarte scurte și al unor plăci rotunde foarte mici se pot de asemenea produce ultrasunete. Cu o placă avînd un diametru de 35 mm au fost produse, în 1898, de către Melde, ultrasunete cu frecvența de 35 kHz . În 1899, König construiește diapazoane foarte mici, de $1\text{--}2\text{ cm}$, cu ajutorul cărora a produs ultrasunete cu frecvența de 90 kHz .

Acste procedee prezintă însă un interes mai mult istoric; ele au fost primele încercări prin care s-au pus în evidență ultrasunetele. Ele nu au în prezent nici o importanță practică, deoarece vibrațiile astfel obținute au o amplitudine foarte mică și amortizarea lor se face foarte rapid, așa că energiile pe care le putem obține sînt foarte mici.

Se mai pot produce ultrasunete cu ajutorul instrumentului numit *fluierul lui Galton*, folosit în studiile de fiziologie pentru determinarea pragului de audibilitate. Fluierul lui Galton este în principiu un tub sonor închis, a cărui lungime poate fi variată cu ajutorul unui șurub.

Cu fluierul lui Galton se obțin sunete cu frecvențe de la 10 kHz în sus, cum și ultrasunete. Dacă presiunea cu care este suflat aerul este menținută riguros constantă, se obțin ultrasunete de frecvență și amplitudine constantă.

Fig. 218 — Fluierul lui Galton.

Fluierul lui Galton funcționează în modul următor (fig. 218): aerul este suflat prin orificiul A în spațiul cilindric B , de unde trece în orificiul rotund C . Aci se produc vârtejuri de aer, care variază periodic. La capătul inferior al fluierului se găsește un mic cilindru D , care constituie adevăratul tub sonor. Lungimea acestui tub poate fi variată cu ajutorul unui piston acționat printr-un șurub micrometric E . În funcție de lungimea coloanei de aer din tubul sonor se produc ultrasunete de diferite lungimi de undă, deci de diferite frecvențe, indicate prin diviziuni chiar pe șurubul micrometric.

Cu acest fluier se poate obține o frecvență de 100 kHz și se poate menține această frecvență constantă; puterea ultrasunetelor poate fi mărită crescînd diametrul tubului de suflat. În lichide, fluierul lui Galton nu a dat rezultate. În 1948, Ianovski și Pohman au reușit, printr-un alt procedeu mecanic, să producă ultrasunete în lichide.

3. GENERATORUL PIEZOELECTRIC

Cel mai important mijloc pentru studiile și practica ultrasunetelor este generatorul piezoelectric.

Fenomenul piezoelectric a fost descoperit de frații Curie în 1880. Exercițind o întindere sau îndoire asupra unui cristal de turmalină, ei au

constatat apariția pe fețele cristalului a unor sarcini electrice proporționale cu presiunea exercitată.

Fenomenul piezoelectric constă deci din faptul că diferite cristale (cuarț, sare Seignette, blendă, turmalină, titanat de bariu), tăiate în mod convenabil, se polarizează electric dacă sînt supuse unei tracțiuni sau compresiuni mecanice pe anumite fețe ale lor. Sarcinile electrice care apar sînt proporționale cu mărimea solicitării mecanice și își schimbă semnul la trecerea de la tracțiune la compresiune și invers.

Cristalele utilizate mai frecvent la producerea ultrasunetelor sînt cele de cuarț (SiO_2); lamele tăiate din acest cristal se numesc lame de piezocuarț.

a) **Piezocuarțul.** Cristalul de cuarț, în formă de prismă hexagonală, are o axă de simetrie Z numită axa optică, trei axe de simetrie X care unesc muchiile opuse și care sînt numite *axe electrice* sau *piezoelectrice*, și alte trei axe de simetrie Y , care unesc mijlocul fețelor opuse, numite *axe mecanice*. Din cristalul de cuarț se taie o lamă, adică o placă paralelipipedică (ori un disc cilindric), astfel încît o comprimare perpendiculară (normală) pe fețele cele mai mari ale plăcii sau perpendiculară pe fețele plane ale discului să se exercite după axul electric X (fig. 219).

Frații Curie au descoperit și legile după care are loc fenomenul piezoelectric și în primul rînd proporționalitatea sarcinii electrice cu presiunea sau tracțiunea exercitată. Fixînd o lamă de cuarț între două foi metalice subțiri aplicate pe fețele opuse, perpendiculare pe axa X (fig. 220) și legînd una din aceste foi metalice printr-un conductor cu un electroscope,

iar cealaltă cu pămîntul, se constată că dacă se comprimă lama de cuarț, de exemplu cu 2 kg, foițele electroscoapului se depărtează de un anumit unghi, iar dacă se exercită o compresiune de două ori mai mare, unghiul format este și el de două ori mai mare.

Pornind de la faptul că cuarțul, ca orice substanță solidă omogenă, nu-și modifică volumul prin compresiune, este evident că, dacă el se comprimă și își micșorează dimensiunea în direcția apăsării, apare o mărire corespunzătoare în volum în direcțiile perpendiculare pe ea; deci, compresiunea pe fața perpendiculară pe axa X corespunde cu o tracțiune perpendiculară pe fața Y . Seria fenomenelor piezoelectrice se explică în modul

următor: comprimarea lamei sau discului de cuarț în direcția axei electrice determină apariția unor sarcini electrice pe fețele perpendiculare pe această axă. Tracțiunea în direcția axei mecanice produce același efect.

Dacă exercităm o tracțiune în direcția axei X sau o compresiune în direcția axei Y , polarizarea electrică se schimbă: fața încărcată anterior

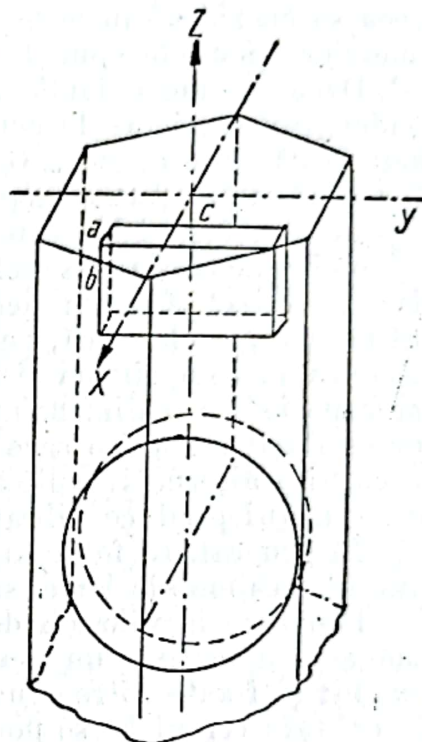


Fig. 219 — Tăierea unei lame sau a unui disc dintr-un cristal de cuarț (X = axa electrică).

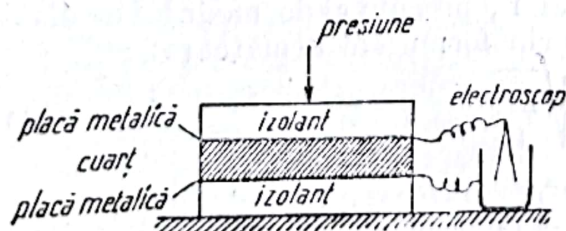


Fig. 220 — Efectul piezoelectric.

pozitiv se încarcă acum negativ, și invers. Acțiunea mecanică exercitată în direcția axei optice nu arată producerea efectului piezoelectric.

Pornind de la aceste rezultate ale transformării energiei mecanice în energie electrică, transformare numită „efect piezoelectric direct”, Langevin și Kilovski (1916 — 1918) au studiat reversibilitatea fenomenului, și anume „efectul piezoelectric invers”.

Acest fenomen invers a fost cunoscut și de frații Curie și fusese prevăzut teoretic de Lippmann.

Efectul piezoelectric invers servește la producerea ultrasunetelor. De aceea se consideră în general că cercetările științifice în privința ultrasunetelor își au începutul în anul 1918.

Dacă așezăm o lamă sau un disc de piezocuarț între armăturile unui condensator conectat într-un circuit electric de curent alternativ, astfel încât armăturile condensatorului să fie perpendiculare pe axa piezoelectrică X a cristalului, piezocuarțul se va îngroșa și subția alternativ în direcția acestei axe, făcând în același timp mișcări inverse în direcția axei Y .

b) **Producerea ultrasunetelor cu ajutorul piezocuarțului.** În efectul piezoelectric *direct* folosim deci comprimarea și tracțiunea mecanică pentru a obține energie electrică, pe când în fenomenul *invers* se transformă energia electrică în comprimări și tracțiuni mecanice în cristal, adică în modificarea periodică a dimensiunilor. Aceste modificări produc în mediul din jur oscilații mecanice care sînt adevărate vibrații sonore. Dacă frecvența curentului alternativ aplicat condensatorului este mai mare de 20 kHz, piezocuarțul produce vibrații ultrasonore sau ultrasunete.

În general, se folosesc vibrațiile perpendiculare pe axa X , adică vibrațiile în grosime ale lamei sau discului de piezocuarț.

Deoarece la vibrații de intensitate mai mare lamele se sparg ușor, Langevin a utilizat un mozaic format din cristale de cuarț tăiate convenabil și fixate între două plăci de oțel cu diametrul de 25 cm. Cu astfel de cristale complexe se pot obține mari energii ultrasonore.

Relațiile dintre cîmpul electric și deformațiile elastice ale cristalului se manifestă în efectul piezoelectric astfel: piezocuarțul fiind supus acțiunii unui cîmp electric alternativ cu direcția axului X , lama prezintă o comprimare în timpul unei alternanțe și o dilatare în timpul alternanței următoare. Vibrațiile elastice care iau naștere în cuarț au frecvența curentului alternativ folosit. Amplitudinea vibrației ultrasonore va fi maximă în cazul rezonanței între frecvența proprie a cuarțului și frecvența curentului alternativ aplicat.

Vibrațiile în grosime (X) se folosesc pentru frecvențe ridicate de la 20 kHz în sus, în care caz lama are circa 14 mm grosime, iar cele în lungime (Y) sînt folosite pentru frecvențe mai mici; în acest caz, lama de cuarț are forma unei bare paralelipipedice cu suprafața emițătoare mică iar piezocuarțul dă energii mici.

Frecvența proprie a cuarțului depinde de grosimea plăcii în direcția axei X sau de lungimea ei în direcția axei Y , precum și de modulul de elasticitate. Această frecvență se exprimă prin formulele următoare:

$$\nu_g = \frac{1}{2e} \sqrt{\frac{E_g}{\rho}} \quad (1)$$

și

$$\nu_l = \frac{1}{2m} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2)$$

unde e este grosimea lamei, m este lungimea, E modulul de elasticitate

$(77,22 \times 10^{10})$, E_g este modulul special pentru direcția axei Y ($85,46 \times 10^{10}$), iar ρ este densitatea cuarțului ($2,65 \text{ g/cm}^3$).

Efectuînd calculele, obținem valoarea frecvențelor proprii ale cuarțului pentru cele două direcții:

$$\text{pentru grosime: } \nu_g = \frac{285,5}{e} \text{ kHz};$$

$$\text{pentru lungime: } \nu_l = \frac{272,5}{m} \text{ kHz}.$$

Pentru a se produce ultrasunete, cuarțul trebuie să aibă vibrații de frecvență foarte mare, așa că și curentul electric care-l excită trebuie să fie un curent de înaltă frecvență. Lama sau discul de cuarț se conectează într-un circuit oscilant de înaltă frecvență. Prin montaje cu tuburi electronice se obțin oscilații electrice întreținute de frecvența și intensitatea necesară; astfel obținem vibrații întreținute ale piezocuarțului, de frecvența curentului electric de înaltă frecvență și de lungime de undă bine stabilită, și deci obținem și ultrasunete de aceeași lungime de undă.

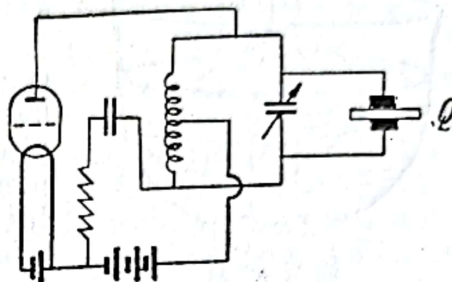


Fig. 221—Montaj pentru producerea unor mari energii ultrasonore.

Montajul mai folosit în biologie și medicină este alcătuit astfel: piezocuarțul este prins între doi electrozi prin care se aplică tensiunea electrică. Pentru ca lama de cuarț să fie în contact perfect cu electrozii, aceștia se aplică sub forma a două straturi de metal pulverizat pe cele două fețe opuse ale lamei; astfel, lama de cuarț se conectează mai ușor în circuitul de înaltă frecvență.

Piezocuarțul se montează în paralel cu condensatorul circuitului oscilant. Prin variația capacității condensatorului se acordă acest circuit cu frecvența proprie a cristalului de cuarț. Montajul se numește în rezonanță; el permite producerea de vibrații puternice în cuarț cu ajutorul cîmpului electric de înaltă frecvență. Acest montaj este întrebuințat pentru producerea unor mari energii ultrasonore, pentru ultrasonarea lichidelor și a corpurilor solide (fig. 221). Pentru producerea de ultrasunete în gaze se folosesc alte montaje (în oscilație etc.).

c) Alte substanțe piezoelectrice folosite la fabricarea generatoarelor ultrasonore sînt cristalele de sare Seignette (tartrat dublu de sodiu și potasiu), de fosfat de amoniu etc.

Au fost puse la punct de curînd substanțe noi, care nu au proprietăți piezoelectrice naturale; acestea li se dau în mod artificial, prin diferite procedee. Din această categorie, cel mai important este titanatul de bariu. Avînd proprietăți piezoelectrice artificiale, titanatul de bariu servește la construirea unor generatoare de unde ultrasonore de forma dorită.

Astfel, dînd unui asemenea generator forma unui tub cilindric, se poate obține ca undele ultrasonore emise de vibrațiile pereților cilindrului să treacă spre interior, așa că lichidul care traversează tubul este supus efectelor unor unde ultrasonore puternice.

Adaptînd un vîrf ascuțit unui astfel de generator cilindric, vibrațiile ultrasonore sînt concentrate asupra unei suprafețe foarte mici și devin astfel foarte intense.

Perfecționarea radiotehnicii permite obținerea unor oscilații de frecvențe foarte înalte (ultrafrecvențe), cărora le corespund unde centimetrice și milimetrice; se pot astfel obține ultrasunete de frecvență foarte înaltă, apropiată de frecvențele vizibile, adică de radiațiile luminii.

4. GENERATORUL MAGNETOSTRICTIV

În afară de efectul piezoelectric folosit pentru producerea și recepționarea ultrasunetelor, se mai folosesc și alte fenomene fizice. Astfel, se construiesc generatoare ultrasonice pe baza fenomenului de magnetostricție. Încă din 1847, Joule a descoperit că unele metale feromagnetice își schimbă dimensiunile într-un câmp magnetic.

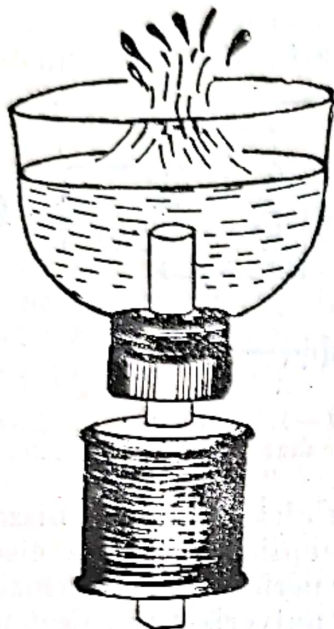


Fig. 222 — Dispozitiv magnetostrictiv într-un recipient cu ulei.

Acest efect este mai pronunțat la nichel și cobalt, precum și la aliajele lor. Excitând o bară de nichel sau de cobalt printr-un curent alternativ care trece printr-o bobină ce înfășoară piesa menționată, obținem oscilații ale suprafeței lui și putem obține într-un lichid înconjurător unde ultrasunete puternice (fig. 222).

Generatorul magnetostrictiv este de construcție simplă și permite producerea unor ultrasunete de frecvență relativ joasă (20—60 kHz), cu energie considerabilă; dar dezavantajele legate de limitarea domeniului frecvențelor, dependența accentuată a frecvenței de temperatură, variația permeabilității magnetice a corpurilor feromagnetice cu intensitatea câmpului magnetic restrâng câmpul de utilizare a acestei metode la detectarea ultrasonoră submarină și în tehnică, la aparate de lipit metalele etc.

B. EFECTELE ULTRASUNETELOR

Deși studiul și aplicațiile ultrasunetelor alcătuiesc încă un domeniu nou, în plină explorare, totuși proprietățile principale ale vibrațiilor ultrasonore și aplicațiile lor în diferitele domenii au fost în bună parte stabilite.

1. PROPRIETĂȚILE ULTRASUNETELOR

Experiențele au dovedit că mediile omogene solide, de exemplu cristalele, absorb ultrasunetele în măsură mai mică decât celelalte medii. Această proprietate poate fi utilizată în cazul oțelului.

Producând oscilații cu frecvența de 1 000 MHz, așa cum au fost realizate recent în tehnica sovietică, obținem ultrasunete cu lungimea de undă de ordinul celor ale radiațiilor luminoase:

$$\lambda = \frac{5\,000\text{ m/s}}{10^9\text{ Hz}} = 0,5\ \mu = 5\,000\ \text{\AA}.$$

Experiențele au furnizat date asupra existenței unei legături între lungimea de undă a ultrasunetului care străbate un corp și dimensiunile nucleului atomic, legătură care poate fi cauza pentru care unele metale sînt

foarte puțin transparente pentru ultrasunete. S-a formulat astfel ipoteza că moleculele metalului produc difuzia sunetelor la fel cum sticla transparentă produce difuzia luminii.

Recepționând ultrasunetele cu un aparat piezoelectric cu efect direct și examinând cu oscilograful catodic, după amplificare, valoarea curentului produs, se constată că absorbția ultrasunetelor depinde de elasticitatea mediului, de rădăcina pătrată a frecvenței ultrasunetului și de greutatea atomică a substanței respective (elementele cu greutate atomică mare absorb, în general, mult mai puternic ultrasunetele decât cele cu greutate atomică mai mică). Unele lichide, cum sînt de exemplu apa, glicerina, acidul sulfuric, devin luminescente sub acțiunea ultrasunetelor (V. Levșin, S. Rjevkin).

Ultrasunetele sînt reflectate de oglinzi și refractate la suprafața de separație a două medii, pe care le străbat întocmai ca și sunetele.

Cel mai interesant fenomen este cel al difracției luminii într-un mediu lichid, în care ultrasunetul se propagă într-o direcție diferită decât cea a propagării luminii. În acest caz se produc fenomene asemănătoare difracției luminii prin rețele optice. Aceasta se datorește faptului că în lichidul ultrasonat există unde staționare, care constituie regiuni cu densitate maximă și minimă, deci cu indici de refracție care variază periodic, la distanțe egale cu jumătatea lungimii de undă a ultrasunetului. De aceea lichidele se comportă ca o rețea optică. Fenomenul de difracție (care va mai fi studiat și în capitolul de „Optică”) permite calcularea lungimii de undă λ și pentru ultrasunete, ca și pentru radiațiile luminoase. În laboratoarele Institutului electrotehnic din Leningrad, G. S. Gorelik și A. A. Andreev au studiat legăturile dintre imaginile ultrasonore și cele optice.

Undele ultrasonore au fost studiate în ultimele decenii de numeroși cercetători, care au publicat peste 2 000 de lucrări în acest domeniu. Printre cercetătorii ultrasunetelor se numără și fizicieni români: acad. Eugen Bădărău, G. Giurgea, I. Cișman, A. Ionescu, E. Grecu ș.a. Și noi am întreprins unele cercetări privind modificarea caracterelor fizice ale mediilor biologice prin ultrasunete.

Studiul ultrasunetelor constituie un capitol deschis, de mare perspectivă.

2. APLICAȚIILE ULTRASUNETELOR

Aplicațiile ultrasunetelor sînt numeroase și de o importanță deosebită. Acțiunea ultrasunetelor se deosebește de cea a sunetelor audibile din cauza frecvenței lor înalte și deci a lungimii de undă mici, care le conferă proprietăți caracteristice, cum și a energiei vibratorii mari ce li se poate da prin montaje cu tuburi electronice puternice; aceasta nu se poate obține la frecvențe joase, care ar cere amplitudini incompatibile cu proprietățile elastice ale corpurilor.

Studiul efectelor biologice ale frecvențelor ultrasonore, ale vitezei de propagare și ale absorbției ultrasunetelor permite cercetarea proprietăților fizico-chimice ale substanțelor, dar și a fenomenelor biologice cum sînt cele biofizice (compresibilitatea și viscozitatea substanțelor), biochimice (respirația celulei și a țesuturilor), fiziologice (funcțiile singelui) farmacologice (acțiunea asupra hormonilor) etc.

a) **Aplicații fizico-chimice.** Dintre aplicațiile efectelor fizice ale ultrasunetelor cităm în primul rînd prepararea unor sisteme disperse: suspensii

emulsii, soluții coloidale, despre care s-a tratat în capitolul respectiv. Înlocuind agitarea mecanică, uneori greoaie și care nu dă rezultate perfecte, ultrasonarea este folosită la mărirea gradului de dispersie al emulsiilor fotografice, la prepararea unor sisteme coloidale, la uniformizarea laptelui etc.

Cu ajutorul ultrasunetelor se poate realiza și efectul invers, de distrugere a sistemului dispers, deoarece ultrasonarea pune în mișcare particulele în vibrație dispersate într-un mediu gazos unde presiunea nu este determinantă ca în mediile lichide.

Astfel, în cazul aerosolilor industriali, ultrasonarea determină o micșorare a gradului de dispersie, deci o coagulare ultrasonică, adică o mărire a particulelor suspendate și, ca urmare, o sedimentare a lor. Pe această cale se poate purifica aerul, eliminându-se din el particule solide fin dispersate.

Coagularea ultrasonică este utilizată pentru a capta particulele de negru de fum și a se recupera astfel și alte particule dispersate care mai pot fi utilizate ulterior.

O întrebuintare în igiena generală este curățirea de fum a aerului orașelor și așezărilor muncitorești de lângă marile întreprinderi industriale care produc mult fum. Procedul ultrasonor are un mare viitor, căci permite să se capteze particulele care scapă filtrelor mecanice și electrostatice ce opresc răspîndirea pulberilor în aer. Cenușa zburătoare, particulele minerale, particulele de cărbune, picăturile foarte mici provenite din diferite substanțe chimice evacuate prin coșurile fabricilor sub formă de vapori și condensate în aer, sînt vătămătoare pentru populație, pentru animale și pentru vegetație. În marile uzine, precipitarea acestor particule fine se obține cu ajutorul unor puternice vibrații ultrasonore, produse de sirene de tip special.

Vibrațiile ultrasonore puternice pot micșora viscozitatea unei soluții coloidale macromoleculare, fluiditatea obținută rămînd și după ce încetează iradierea.

În privința efectelor chimice, ultrasunetele au uneori proprietăți contradictorii. Pe de o parte accelerează polimerizarea unor substanțe, pe de alta le depolimerizează, fracționînd macromoleculele în molecule mai mici (de exemplu, trecerea polistiroliului în stirol).

În categoria efectelor chimice de accelerare a unor fenomene care se produc de obicei într-un ritm lent, ultrasunetele pot fi folosite la o învechire artificială a vinului, adică la producerea unor polimeri, formarea unor alcooli superiori și esteri care dau caracterul specific vinurilor vechi. O astfel de metodă a fost elaborată în U.R.S.S. de Protopopov; aplicarea ei este în funcție de realizarea unor generatoare industriale de ultrasunete, de intensitate și frecvență corespunzătoare.

b) Aplicații biologice. Ultrasunetele au efecte biologice importante.

La ultrasonarea unui lichid se poate produce o diferență de presiune de mai multe atmosfere între două puncte situate la o distanță egală cu jumătatea lungimii de undă a vibrației ultrasonore; diferența de presiune are asupra peștilor și broaștelor un efect dăunător, uneori mortal, chiar dacă vibrațiile ultrasonore sînt mai puțin intense. Experiența arată că pentru distrugerea unor pești mici este suficientă o frecvență de 800 kHz. Șoarecii sînt omorîți la o frecvență de 20 kHz și o intensitate de 1—3 W/cm².

Dacă se tratează cu ultrasunete diferite culturi de microbi, se pune în mișcare protoplasma din interiorul celulelor și se modifică elementele ei componente; solicitările mecanice duc la ruperea membranei, a cililor vibrațiali și deci la distrugerea microorganismelor.

Rezultatele obținute în acest domeniu au dus la posibilitatea de a se distruge microbii cu ajutorul ultrasunetelor. Microbii tusei convulsive au fost distruși cu ultrasunete cu frecvența de 950 kHz. S-au obținut rezultate asemănătoare tratând cu ultrasunete microbii febrei tifoide, ai gripei și tuberculozei. Cercetări în curs sînt îndreptate asupra unor microbi care rezistă la ultrasunete de foarte înaltă frecvență și de mare intensitate.

Acțiunea ultrasunetelor asupra microbilor a fost experimentată cu succes pentru sterilizarea alimentelor în vederea unei bune conservări a lor. Ultrasonarea se întrebuițează la sterilizarea laptelui, a mustului etc.; în acest mod, laptele, precum și alte lichide care fermentează, se pot păstra timp îndelungat.

S-a dat o explicație a efectelor mecanice, fizico-chimice și biologice ale ultrasunetelor, arătîndu-se că acestea se produc datorită fenomenului de „cavitație“, care are loc în lichidele supuse vibrațiilor ultrasonice. În aceste lichide, presiunile ultrasonore sînt foarte mari; calculul arată că pentru o amplitudine de 2×10^{-6} cm din cîmpul unei unde ultrasonore, cu frecvența 10^6 Hz, presiunea este de aproximativ 2 atmosfere.

Presiunea ultrasonoră întrece deci presiunea atmosferică de la suprafața lichidului. În regiunile de presiune minimă, presiunea din lichid devine mai mică decît cea atmosferică, ceea ce duce la discontinuități în lichid, adică la formarea unor goluri (cavități). Aceste goluri sînt la început microscopice, dar ele se măresc treptat; lichidul întîmpinînd vidul acestor cavități, se evaporă brusc în ele, așa că acestea se umplu cu vaporii. Lichidul se comportă astfel în contact cu aceste cavități ca și cum ar fierbe la temperatură joasă, la presiune scăzută.

În locurile unde presiunea este maximă, micile cavități pline de vaporii sînt comprimate puternic, așa că discontinuitățile dispar aproape cu totul. Dar vaporii comprimați atît de mult în aceste cavități dezvoltă o forță elastică locală care poate atinge mii de atmosfere.

Presiunea produsă astfel se manifestă la un moment dat sub formă de lovituri bruște; aceste lovituri produc stropiri și ridicări în aer ale straturilor superioare de lichid ultrasonat. Ele au efectele distructive mecanice, fizico-chimice și biologice arătate.

Aceste lovituri locale produc efecte distructive mecanice asupra ființelor mai mici, pești, etc. din lichidul ultrasonat și distrug microorganismele (*Trypanosoma*, *Saccharomices* etc.).

În epoca de început a studiului ultrasunetelor, unul dintre cercetători (Langevin), ținînd mîna în apa ultrasonată, a simțit dureri. Alt cercetător (Pohlman), repetînd experiența și mărind gradat intensitatea și frecvența ultrasunetelor, acestea au produs inflamații temporare; după terminarea experimentelor, organismul a revenit la normal. Unele ultrasunete, și anume cele de intensitate mare, produc răni.

Vaporii formați în cavități, cum și cantitățile de gaz care fuseseră dizolvate în lichid și care intră treptat în cavitățile formate, se află la început sub o presiune foarte scăzută, deci sînt ionizate cu ușurință; pe de altă parte, anihilarea bulelor prin presiune contribuie și ea la ionizarea gazelor din lichidul sonorizat. Astfel se explică formarea apei oxigenate, oxidului și bioxidului de azot în soluția ultrasonată, ozonizarea oxigenului din aerul de deasupra lichidului etc.

Se mai produce și un fenomen de luminiscentă a apei sub acțiunea undelor ultrasonore. Levşin și Rjevkin (1937) au arătat că luminiscenta apei în timpul sonorizării este localizată în bulele gazoase și condiționată de ionizarea gazului din cavități în cîmpul electric de mare tensiune

format. S-a mai arătat că, în stadiul inițial de dezvoltare a unei bule gazoase este foarte probabilă o excitare a atomilor însoțită de radiații ultraviolete.

Lucrări recente au arătat că, în soluțiile apoase, ultrasunetele produc, prin ionizare, disocierea apei și apariția unor radicali OH liberi și a unor atomi de hidrogen atomic foarte reactiv, întocmai cum se produce prin acțiunea razelor Röntgen și a razelor α , β și γ ale substanțelor radioactive.

Ipoteza apariției radicalilor liberi în mediul apos sonorizat a fost confirmată indirect prin unele cercetări privind modificările profunde ale moleculelor proteinelor (Elpiner, 1950) sub acțiunea ultrasunetelor.

Rezultatele obținute cu privire la acțiunea chimică indirectă a ultrasunetelor și la apariția în lichidul ultrasonat a produselor de descompunere a apei permit explicarea unei întregi serii de reacții chimice care decurg sub influența puternicului agent fizic care este ultrasunetul; se explică astfel și efectul apei oxigenate, al ozonului și al celorlalte substanțe astfel formate, asupra fermentilor, toxinelor, virusurilor etc.

c) **Aplicații medicale.** În afară de acțiunea distructivă a ultrasunetelor asupra bacteriilor și virusurilor și de posibilitatea de a folosi ultrasonarea pentru a extrage din culturi de bacterii anumite substanțe labile și a le utiliza la prepararea serurilor și vaccinurilor, efectele biologice sînt folosite și în scopuri terapeutice. În practica medicală, tratamentul cu ultrasunete a început relativ tîrziu.

În 1939, Parov și Pohlman au vindecat prin ultrasunete mai mulți bolnavi de sciatică. Începînd din 1945 s-a răspîndit folosirea ultrasunetelor în medicină.

În general, frecvențele ultrasonore ridicate, dar nu prea intense, au acțiune asupra corpului omenesc, producînd o vindecare rapidă a nevralgiilor și o ameliorare în reumatism. Producînd încălzirea anumitor țesuturi, cum și un masaj profund, ele activează schimburile în regiuni mai puțin accesibile altor factori terapeutici și sînt aplicate în afecțiunile articulare cronice.

În aplicațiile medicale se folosesc ultrasunetele de $\nu = 800$ kHz. Aparatul medical de ultrasunete are drept piesă de aplicare un cap de iradiere (proiector) în care se află piezocuarțul conectat în circuitul oscilant cu ajutorul unui cablu coaxial, conductorul interior făcînd legătura dintre generatorul de înaltă frecvență și una din fețele cristalului, iar conductorul exterior fiind pus la pămînt; între cuarț și placa de masaj a proiecteurului se află ulei. Placa vibrează în ritmul vibrației cuarțului. O picătură de apă aflată pe membrana de masaj a proiecteurului începe curînd să fiarbă, din cauza încălzirii, energia vibratorie mecanică transformîndu-se în energie calorică.

Aplicarea pe corp se face după ce acesta a fost uns cu ulei de parafină. Din cauza încălzirii care se produce, aparatul se deplasează permanent pe corp. Dacă scopul tratamentului constă în introducerea prin piele a unor substanțe medicamentoase și în mărirea acțiunii acestora, ele sînt întinse într-un strat fin pe piele și apoi se aplică ultrasonarea.

O aplicație medicală importantă a ultrasunetelor este cea menționată la descrierea efectelor fizico-chimice, și anume fracționarea diferitelor substanțe folosite ca produse medicamentoase. Unele substanțe, insolubile în apă, nu pot fi administrate decît sub formă de emulsii sau de suspensii. Astfel, camforul este insolubil în apă, ceea ce face ca să nu poată trece direct în sîngele bolnavului, pentru a ajunge mai repede la inimă. Introducînd ulei camforat în venă, circulația sanguină suferă. Cu ajutorul ultra-

sunetelor s-a divizat uleiul camforat în picături foarte mici, astfel că emulsia obținută a putut fi introdusă, fără riscuri, direct în sine.

Unele emulsii de sulfamide folosite azi în medicină sînt preparate cu ajutorul ultrasunetelor. Experiența a arătat că emulsiile pe bază de sulfamide preparate prin iradiatie sînt mult mai eficace decît cele preparate pe căile obișnuite.

S-a încercat și o radiografie ultrasonoră. Razele Röntgen nu se pretează prea bine la radiografierea craniului; faptul că vibrațiile ultrasunetelor X. Ultrasunetele nu sînt absorbite în mod egal de diferitele părți ale craniului; aceasta permite studierea structurii creierului printr-o iradiatie totală. În acest mod se pot studia îndeosebi ventriculii cerebrali. Ultrasunetul folosit este de mică putere și absolut inofensiv, întocmai ca orice sunet audibil obișnuit.

Principiul metodei utilizate îl constituie emisiunea și recepția unor ultrasunete de-a lungul unei linii antero-posterioare care împarte creierul în două părți. Acolo unde undele ultrasonore au un drum mai scurt de străbătut prin creier, ele sînt recepționate ca vibrații mai intense, iar acolo unde traiectul de străbătut este mai lung, intensitatea semnalului recepționat este mai mică. Trecînd prin regiunea ventriculilor cerebrali, ultrasunetele emise sînt mai puțin absorbite.

Iradieră creierului cu ultrasunete prezintă încă unele dificultăți, deoarece semnalele ultrasonore sînt reflectate de cutia craniană și se compun cu semnalele emise, modificîndu-le puterea. Pentru a elimina aceste piedici, receptorul ultrasonor este izolat complet de emițător. Receptorul, aflat într-un dispozitiv special, este prevăzut cu un aparat înregistrator care permite să se obțină o diagramă ultrasonoră a așezării ventriculilor cerebrali.

Aplicarea ultrasunetelor de intensitate mai mare produce răni în piele și în țesuturile mai adînci. De aceea, folosirea ultrasunetelor, atît în terapeutică, cît și în cercetare și tehnică, a pus problema securității muncii și a protecției celor care manipulează ultrasunetele.

Experiențele au arătat că, în condițiile de lucru descrise, la intensități moderate, la orice frecvență, cei care lucrează cu ultrasunete nu au de suferit.

În fig. 223 sînt redată două aparate medicale de aplicat ultrasunetele: unul pentru clinică și altul portabil.

d) **În agricultură.** Într-un alt domeniu legat de biologie, și anume în agricultură, ultrasunetele sînt folosite pentru mărirea producției. În Uniunea Sovietică, Istomina și Ostrovski, în urma încercărilor începute în 1936, au obținut printr-o iradiere timp de 5 minute, cu ultrasunete cu o frecvență de 400 kHz și putere de 80 W, mărirea cu 30% a capacității de încolțire a mazării și a cartofului. Davidov, iradiînd mazărea timp de 2—10 minute cu ultrasunete, obține o ameliorare a capacității de încolțire cu 45%; aceleași rezultate bune au fost obținute la ovăz și mei. Pentru fiecare plantă s-a constatat existența unui timp optim de expunere, depășirea lui ducînd la pierderea capacității de încolțire.

e) **În navigație.** Ultrasunetele au fost folosite, de la început, pentru nevoile navigației; propagarea ultrasunetelor este utilizată și astăzi în ajutorul siguranței navigației, adică pentru măsurarea distanțelor pînă la fundul apei, sau pe timp de ceață, pînă la un vas vecin sau la un ghețar plutitor.

În semnalizarea submarină dirijată, pentru a descoperi obiectele subacvatice sau pentru a determina adîncimea fundului apei cu ajutorul ecoului,

se folosesc aparate construite pe principiul următor: de la generatorul de ultrasunete se trimite o rază ultrasonoră, care, atingând obstacolul (fundul apei, submarinul, epava, ghețarul), este reflectată și vine înapoi, unde este primită de receptorul piezoelectric. Cunoșcând viteza de propagare a ultrasunetelor în apă și determinând timpul care trece de la emiterea semnalelor ultrasonore și pînă la recepția ecoului, se calculează distanța dintre vas și obstacol.

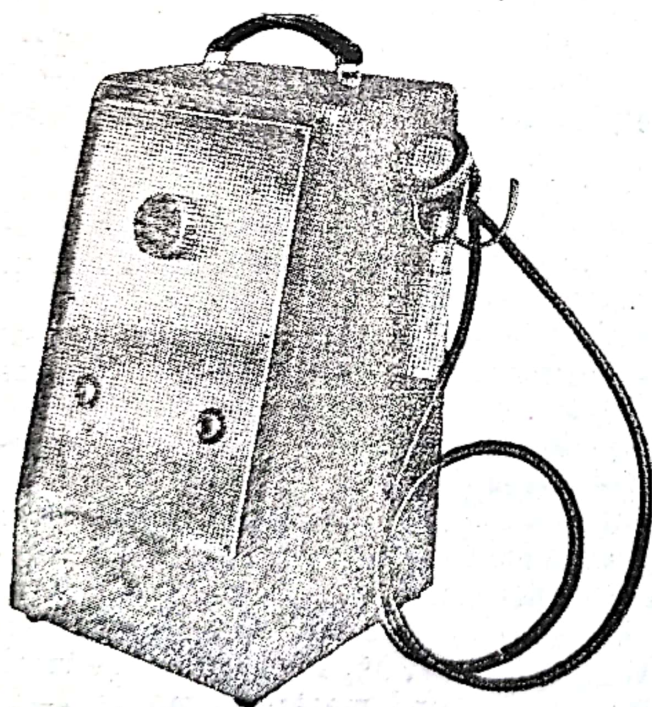
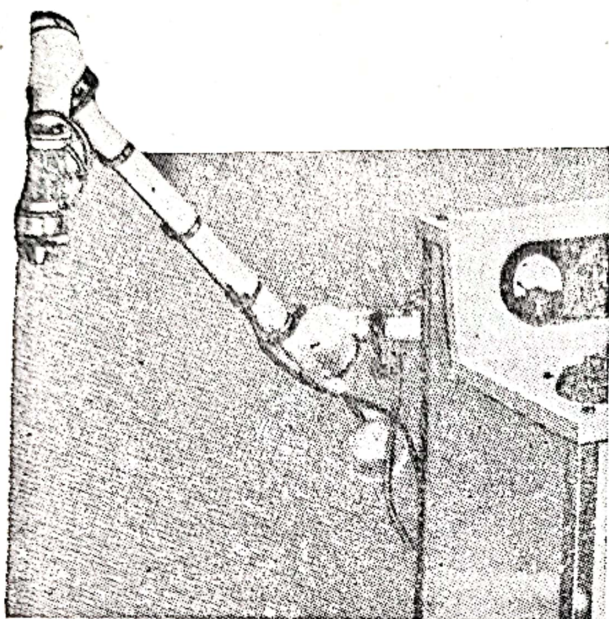


Fig. 223 — Aparate medicale de ultrasunete: sus, de clinică; jos, portabil.

f) Defectoscopia. O altă utilizare a ultrasunetelor care a trecut în tehnică este defectoscopia ultrasonoră. Această metodă permite descoperirea discontinuităților neaparente din piesele metalice (goluri, fisuri). La ultrasonarea unor asemenea piese, discontinuitățile reflectă aproape complet ultrasunetele, pe cînd partea metalică este permeabilă pentru ele. Așezînd un receptor piezoelectric în diferite regiuni se pot descoperi defectele după intensitatea ultrasunetelor recepționate.

Defectoscopia ultrasonică, ale cărei baze au fost puse în U.R.S.S., a fost studiată de S.A. Sokolov și elevii săi încă din 1924. Primul defectoscop ultrasonic a fost construit în 1928.

Dezvoltarea rapidă a industriei a făcut necesară o defectoscopie mai perfecționată. Pentru examinarea metalelor, acestea se iradiază cu ultrasunete din mai multe părți deodată, intermitent, prin impulsuri de foarte scurtă durată (fracțiuni de microsecundă).

Metoda impulsurilor ultrasonice alcătuiește metoda perfecționată numită *reflectoscopie*, elaborată de Sokolov în 1935. Ea servește la studierea defectelor pieselor metalice groase de cîțiva

metri care nu pot fi examinate cu razele Röntgen.

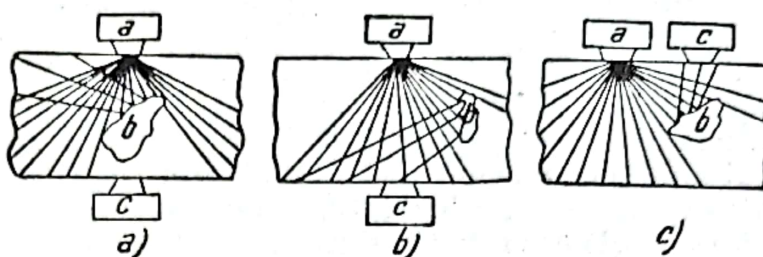
În timp ce la defectoscopie, ultrasunetele care trec prin piesă se reflectă de discontinuitatea eventuală și deci în acel loc nu sînt recepționate, în reflectoscopie receptorul este așezat de aceeași parte a piesei și indică poziția defectului pe baza recepției radiațiilor ultrasonore reflectate (fig. 224).

g) Microscopul ultrasonic. Microscopul ultrasonic este o realizare relativ nouă; aparatul a fost inventat după microscopul electronic. În locul razei

de lumină, utilizată în microscopul optic, sau în locul fascicului de electroni din microscopul electronic, microscopul ultrasonic utilizează razele ultrasonore.

Principiul de bază al aparatului a fost comunicat de fizicianul sovietic S.A. Sokolov în 1936,

iar primele microscopice ultrasonice au fost construite după 1944. În aceste aparate, ultrasunetele generate de un cuarț piezoelectric fiind îndreptate spre obiectul de cercetat sînt reflectate de suprafața acestuia; dacă se grupează însă cu ajutorul



a — ultrasunetele trec prin piesă; b — reflectarea de partea opusă; c — reflectarea de partea capului de emisiune.

Fig. 224 — Examinarea pieselor metalice cu ajutorul ultrasunetelor.

unei lentile ultrasunetele reflectate, cît și cele care traversează obiectul, la fel ca în cazul radiațiilor luminoase din microscopul optic, se realizează o imagine mărită. Dificultatea întîmpinată de cercetători a constituit-o construirea unor lentile și oglinzi care să se comporte față de ultrasunete la fel cum se comportă cele optice față de radiațiile luminoase.

Schema primului microscop ultrasonic al lui Sokolov se poate urmări în fig. 225. Un fascicul îngust de ultrasunete, emis de piezocuarțul (1), „luminează”, obiectul de cercetat (2). Fasciculele reflectate de acest obiect cad pe o „lentilă” pentru ultrasunete (3). Receptorul piezoelectric (4), așezat în focarul lentilei, constituie în același timp și ecranul tubului catodic (5). Un fascicul electronic îngust (6) cade pe placa receptoare și, din cauza sarcinilor electrice produse aci (datorite faptului că presiunea diferită în diversele puncte ale suprafeței cuarțului a creat o tensiune electrică ce diferă de la un punct la altul) are loc o variație a curentului tubului catodic.

Cu ajutorul plăcilor de deviație ale tubului catodic (5) facem ca fasciculul electronic să exploreze toate punctele plăcii receptoare, sarcinile se adaugă curentului tubului catodic, iar curentul anodic (7) va deveni variabil. Variațiile obținute se aplică la grila tubului electronic (8), care le amplifică.

Tensiunea obținută este aplicată pe electrodul de comandă al tubului catodic (9), așa că intensitatea fascicului electronic al acestui tub variază în mod corespunzător.

Sincronizînd tuburile catodice (5) și (9), vom obține pe ecranul tubului (9) imaginea corespunzătoare a sarcinilor electrice de pe placa receptoare (4), însă mult mărite. Principiul transmiterii este cel al aparatelor de televiziune, adică explorarea succesivă a unui număr foarte mare de puncte, din care este alcătuită o imagine, și reproducerea lor pe ecranul tubului catodic

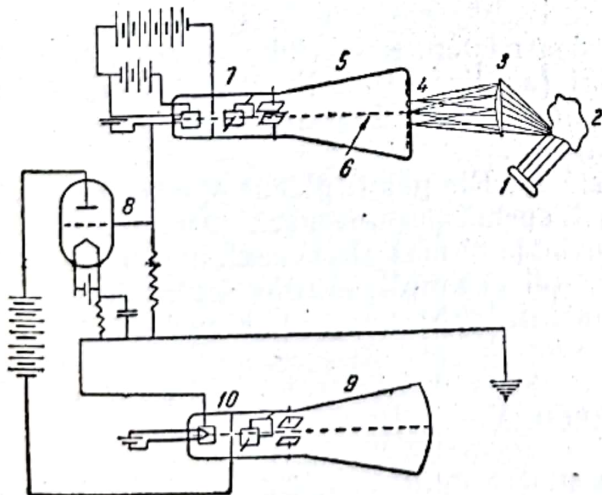


Fig. 225 — Schema microscopului ultrasonic al lui Sokolov.

cu ajutorul unui fascicul de electroni care parcurge pe rînd toate punctele ecranului. Dacă fasciculul electronic al tubului (9) se mișcă sincron cu fasciculul electronic care explorează suprafața receptoare (4), apare pe ecranul tubului catodic (9) imaginea mult mărită a obiectului studiat.

Puterea de mărire a microscopului ultrasonic depășește mult puterea de mărire a microscopului optic. După cum se va vedea în capitolul de optică, puterea de mărire a microscopului optic este de maximum 2 000 diametre, fapt legat de puterea de separare limitată a aparatului; dacă între două puncte nu există o distanță mai mare de 2 500 Å, deci mai mare decît cea mai mică lungime de undă a radiației luminoase folosite la microscop, lumina ultravioletă, cele două puncte se vîd contopite în unul singur, deci microscopul nu le poate separa.

S.A. Sokolov și colaboratorii săi, folosind unde ultrasonore de frecvență de 1 000 MHz, au obținut mărimi mult mai mari decît cu microscopul optic. Un calcul simplu arată că, pentru o frecvență de 3 000 MHz, lungimea de undă ultrasonoră este de 5 000 Å, deci cît lungimea de undă a luminii galbene-verzui. Pentru o frecvență de 10 000 MHz, lungimea de undă fiind mult mai mică, puterea de separare a microscopului ultrasonic este mult mai mare decît a celui optic. Ea este însă mai mică decît mărirea care se poate obține cu microscopul electronic.

Microscopul ultrasonic servește la studiul obiectelor care, deși nu sînt transparente pentru lumină, sînt totuși transparente pentru ultrasunete.

V. ACUSTICA FIZIOLOGICĂ

În studiul fizicii medicale, caracterile fiziologice ale sunetului și procesul fizic al audierii și fonației normale se grupează de obicei într-un capitol care din cauza contingentelor cu studiul fiziologiei este denumit „acustica fiziologică”.

Acest capitol cuprinde elementele fizice care stau la baza teoriilor auzului și vorbirii, cum și principiile diferitelor metode și aparate acustice folosite în medicină. Ele vor completa legătura făcută între fizică și medicină în decursul dezvoltării elementelor de acustică din expunerea de față.

[A. AUDIERIA

Pentru ca vibrația mecanică să dea naștere senzației auditive, ea trebuie percepută de organul auzului (analizorul auditiv), urechea. Prin construcția ei, urechea percepe vibrațiile sonore și le transformă în excitație nervoasă, care produce senzația auditivă.

Senzațiile auditive sînt foarte variate. Ele pot fi plăcute (sunete muzicale) sau neplăcute (zgomote); acestea din urmă sînt uneori chiar vătămătoare. Înregistrate pe un disc, sunetele muzicale și mai ales vocale prezintă șanțurile sinusoidale regulate ale frecvenței și amplitudinile egale ale intensității. Zgomotele înregistrate se prezintă sub forma unor curbe cu totul neregulate.

1. URECHEA

Cu ajutorul urechii deosebim la sunete înălțimea, intensitatea și timbrul, și putem determina direcția și distanța la care se află sursa sonoră. Deși elementele de anatomie a urechii se presupun cunoscute, vom reaminti

totuși noțiunile strict necesare pentru înțelegerea fenomenelor mecanice ale acusticii fiziologice, adică modul de propagare a sunetului pînă la nervul auditiv și căile fizice ale transformării vibrației sonore în senzație auditivă.

Organul auditiv, se împarte, din punct de vedere anatomic, în ureche externă, medie și internă (fig. 226).

a) Urechea externă este formată din pavilion și canalul auditiv extern; acesta este lung de aproximativ 25 mm, are diametrul de 7 mm și este ușor îndoit în jos. Extremitatea interioară a canalului este închisă de membrana numită timpan, care desparte urechea externă de urechea medie.

Animalele care au pavilionul urechii mobil îl pot îndrepta spre izvorul sonor; la om, pavilionul este practic imobil și are deci un rol mai redus în orientarea spre izvorul sonor. Totuși, experiența arată că, dacă se umple sinuozitățile pavilionului cu ceară moale, se micșorează deosebi facultatea de a localiza sunetul. Dacă se înlocuiește pavilionul cu o pilnie a cărei extremitate subțiată se introduce în canalul auditiv extern, se concentrează mai ușor undele sonore. Metoda este cunoscută și aplicată de mult în medicină.

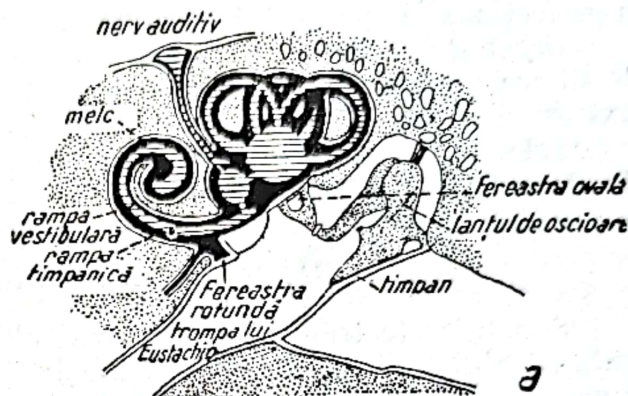
Timpanul este o membrană care vibrează la sunete de frecvențe foarte diferite. După unii autori, gradul de tensiune a timpanului crește progresiv de la periferie spre centru, ceea ce permite fiecărei regiuni a acestei membrane să răspundă unei anumite frecvențe.

Presiunea exercitată asupra timpanului este echilibrată în urechea mijlocie prin intrarea aerului prin gură, nas și trompele lui Eustachio.

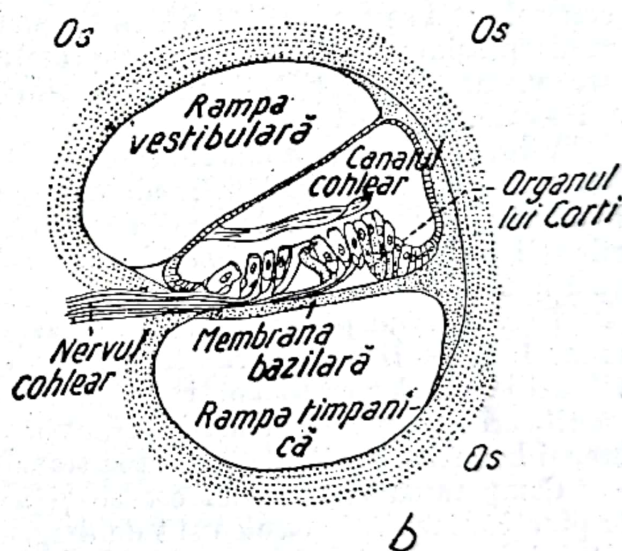
b) Urechea medie cuprinde timpanul, un disc oval de 10 mm $\times$ 3,5 mm și gros de 0,1 mm, fixat de partea osoasă cu ajutorul unui inel tendinos. Cavitățile timpanică, de 1—2 cm³ capacitate, este limitată spre urechea externă de timpan și spre urechea internă de două orificii: fereastra rotundă, obturată de o membrană fină, și fereastra ovală, acoperită de baza scăriței. Urechea mijlocie este legată de faringe prin canalul numit trompa lui Eustachio.

c) Urechea internă se află așezată în stinca osului temporal și este compusă dintr-un labirint osos plin cu un lichid, numit perilimfă, și unul membranos în care se află endolimfa.

Organul care îndeplinește funcția auditivă se numește melc, din cauza formei sale, și este un canal osos împărțit în două camere, scări sau rampe:



a — secțiune schematică prin ureche;



b — secțiune prin melc (schemă).

Fig. 226 — Urechea.

scara vestibulară, care duce la fereastra ovală, și scara timpanului, care duce spre fereastra rotundă.

Scara superioară este împărțită de o membrană subțire în două cavități, dintre care cea mai mică se numește scara medie. În interiorul scării medii se află cea mai importantă parte a melcului, și anume *organul lui Corti*. Melcul cu organul lui Corti are funcția de organ auditiv.

Cea mai mare dezvoltare a acestui organ o întâlnim la mamifere, ca urmare a perfecționării aparatului de percepere a sunetelor, aflat în urechea internă.

Organul lui Corti este așezat la suprafața superioară a membranei bazilare; membrana este compusă dintr-un mare număr de fibre elastice extrem de fine, care susțin mici arcuri așezate unele lângă altele, numite organele lui Corti. În membrana bazilară, în imediata apropiere a organelor lui Corti, se termină ramificațiile fine ale nervului auditiv.

2. TRANSMITEREA MECANICĂ A SUNETULUI

Sunetul este transmis pe drumul obișnuit al undei sonore, care trece prin canalul auditiv și pune în vibrație timpanul și lanțul de oscioare auditive, transmitând vibrațiile spre fereastra ovală. Modul de articulare al acestor oscioare este astfel încât mișcările scăriței sînt de trei ori mai mari decît cele ce i se transmit de către timpan prin ciocănaș și nicovală. Creșterea de presiune pe unitatea de suprafață este mare, suprafața timpanului care primește variațiile de presiune fiind de 14 ori mai mare decît a ferestrei ovale.

Vibrațiile sonore ale aerului, care este un mediu de densitate mică, sînt astfel transmise cu un bun randament energetic endolimfei, mediu lichid de densitate mai mare. Aerul din cavitatea urechii medii vibrează, iar aceste vibrații sînt transmise direct ferestrei rotunde; propagarea undelor sonore pînă la ureche prin aer se numește transmisie aeriană.

Dacă așezăm piciorul unui diapazon în vibrație pe apofiza mastoidă, sunetul poate fi auzit prin transmisie osoasă: vibrațiile sonore provoacă vibrațiile oaselor craniene și ale labirintului; aceste vibrații provoacă o modificare în presiunea endolimfei, avînd drept rezultat o perturbare a membranei bazilare, similară celei de la transmisia aeriană.

Compararea transmisiei osoase și a transmisiei aeriene este utilizată în practica medicală ca element de diagnostic în anumite afecțiuni ale aparatului de transmitere a sunetului la ureche.

Oscioarele auditive au o importanță capitală în transmiterea vibrațiilor sonore. Ciocănașul și nicovala, deși articulate între ele, sînt totuși legate strîns, astfel că oscilează împreună ca un singur organ în timpul vibrațiilor sonore. Aceste mișcări vibratorii se transmit scăriței, care este fixată de fereastra ovală. Legăturile articulare permit oscioarelor auditive mișcări în diferite planuri: printre acestea predomină mișcarea longitudinală înainte și înapoi, în direcția conductului auditiv. În absența timpanului și a oscioarelor, vibrațiile sonore se transmit direct ferestrei rotunde, care are un rol foarte important în mecanismul de transmitere a oscilațiilor sonore.

3. TEORIILE AUDIȚIEI

Fenomenele fizice ale acusticii au servit drept bază pentru formularea unor teorii privind auzul. Aceste teorii se împart în două grupe:

a) în prima se încadrează teoriile analizei centrale, care nu admit participarea la analiză a receptorului periferic, adică a melcului;

b) din grupa a doua fac parte teoriile care admit participarea la analiză, atât a sectorului central, cât și a sectorului periferic al analizorului auditiv.

Teoria cea mai întemeiată este *teoria rezonanței*, formulată de Helmholtz în 1863; cu modificările ei moderne, această teorie corespunde pe deplin datelor clinice și experimentale obținute în studiul analizorului sonor.

S-a stabilit că lățimea membranei bazilare la baza melcului este aproximativ de trei ori mai mică decât la vîrf (0,16 mm la bază și 0,52 mm la vîrf); lungimea fibrelor transversale elastice din membrana bazilară, care se numără cam la 24 000, crește deci treptat de la bază spre vîrf.

Strîns legate între ele, fibrele membranei bazilare sînt întinse în sens longitudinal cu ajutorul ligamentului spiral; acesta este puternic dezvoltat în spiralele inferioare ale melcului, ceea ce presupune o tensiune mai puternică a fibrelor transversale ale membranei bazilare în această regiune.

Pornind de la structura anatomică a melcului, Helmholtz admite că fibrele membranei bazilare a melcului intră în mișcări vibratorii de rezonanță datorită vibrațiilor mecanice ale sunetului, transmise prin sistemul timpan-oscioare.

După teoria rezonanței, formulată de Helmholtz, fiecare din aceste fibre se aseamănă cu o coardă sonoră acordată pentru un sunet anumit și care poate intra în vibrație pentru acest sunet prin fenomenul de rezonanță, pe care l-am descris în partea generală a acestui capitol.

Elementele din melc care percep sunetele sînt așezate astfel încît sunetele mai înalte sînt percepute în regiunile de bază ale melcului, unde membrana bazilară este mai îngustă, iar sunetele mai joase sînt percepute în regiunile vîrfului membranei, care sînt mai late. Această reprezentare a funcției melcului este confirmată de numeroase date experimentale și clinice obținute în ultima vreme. În adevăr, Witmaak, exercitînd o acțiune prelungită a sunetelor de frecvență înaltă și de intensitate traumatizantă, constată localizarea modificărilor degenerative ale organului lui Corti în spiralele inferioare ale melcului, iar la sunete joase la vîrfurile lor.

Teoria lui Helmholtz și-a găsit confirmarea în experiențele lui Andreev (1923—1925); provocînd la un cîine leziuni parțiale în melc în diferite regiuni și folosind metoda reflexelor condiționate, Andreev observă că modificările auzului în caz de lezare parțială a melcului depind de localizarea acestei leziuni: cu cît organul lui Corti este lezat mai aproape de bază, cu atît frecvența sunetului la care dispare reacția condiționată este mai mare, și invers, cu cît leziunea este localizată mai aproape de vîrfurile melcului, cu atît frecvența sunetului este mai mică; de asemenea, o leziune localizată a melcului produce o tulburare în funcționarea acestuia numai față de anumite frecvențe, în timp ce partea melcului rămasă îndemnă păstrează capacitatea de a răspunde la excitațiile sonore de intensitate diferită, precum și de a produce diferențierea sunetelor după înălțimea lor.

Cercetările experimentale și observațiile clinice făcute prin alte metode concordă cu rezultatele obținute de Andreev. S-a verificat pe audiogramele unor bolnavi faptul că există o corespondență destul de precisă între locul leziunii și frecvența sunetelor pentru care a existat o surditate parțială sau totală.

Teoria rezonanței prezintă însă unele nepotriviri; astfel, intrarea în rezonanță a organelor lui Corti pentru cele zece octave audibile, de la 20 la 20 000 Hz, presupune o modificare considerabilă a elasticității membranei bazilare, cum și modificări în intensitate la diferite frecvențe.

Pentru a înlătura aceste dificultăți în aplicarea teoriei rezonanței, Fletscher (1930) admite că în timpul producerii sunetului vibrează, nu numai

fibrelor care intră în rezonanță la frecvența dată, ci și alte fibre ale membranei bazilare, precum și lichidul aflat în mele.

Rezonanțele maxime se distribuie, după această teorie, de-a lungul membranei bazilare, în funcție de frecvența sunetului excitant. Senzația auditivă este determinată însă de locul de amplitudine maximă a membranei bazilare.

În acest mod, teoria lui Fletscher, care este numai o modificare a teoriei rezonanței, întâmpină mai puțină opoziție din punctul de vedere al mecanicii urechii interne.

4. CARACTERELE FIZIOLOGICE ALE SUNETULUI

Sub denumirea de caractere fiziologice ale sunetului se cuprind acele calități ale fenomenului vibrator sonor care fac sunetul audibil, în mod normal.

a) **Sunete și zgomote.** Din punct de vedere fiziologic, adică după senzația auditivă pe care o produc, sunetele sînt de trei categorii: sunete muzicale, produse de mișcări periodice regulate, zgomote, care corespund unor mișcări neregulate, și pocniturile, produse de lovituri de scurtă durată, exercitate asupra timpanului de variații bruște de presiune. Graficul din fig. 227 pune în evidență deosebirea fizică dintre un sunet muzical simplu, un sunet muzical compus, un zgomot și un pocnet.

b) **Condițiile de audibilitate.** Pentru ca o vibrație mecanică să fie percepută sub formă de sunet, ea trebuie să îndeplinească anumite condiții de frecvență, intensitate și durată.

Am arătat că, pentru a fi auzită, vibrația trebuie să aibă o frecvență cuprinsă între 16 și 20 000 Hz. Aceste limite și îndeosebi limita superioară diferă însă de la individ la individ și coboară cu înaintarea în vîrstă. Regiunea frecvențelor mai mici de 16 Hz se numește regiunea infrasunetelor, iar cea cu frecvențe mai mari de 20 kHz am arătat că este regiunea ultrasunetelor.

Intensitatea vibrației trebuie să fie cuprinsă între anumite limite pentru ca sunetul să poată fi auzit.

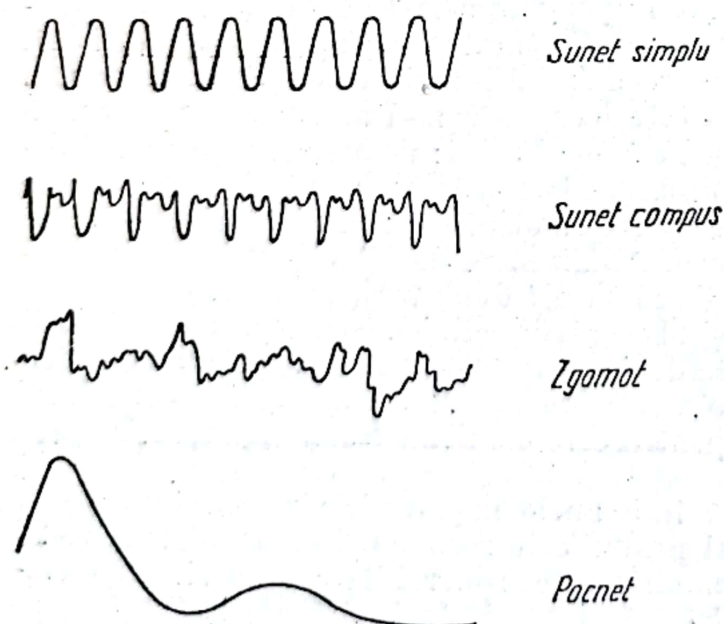


Fig. 227 — Deosebirea fizică dintre sunete și zgomote.

Există un prag, spre intensități acustice slabe, sub care sunetele nu mai pot fi percepute, iar spre intensitățile puternice există de asemenea o limită deasupra căreia senzația auditivă se transformă în senzație dureroasă. Presiunea sonoră minimă pentru o frecvență dată, la care urechea nu mai poate deosebi sunetul și începe să simtă durere, se numește *prag dureros*. Pentru un sunet normal, de 1 000 Hz, și pentru o ureche normală, pragul dureros corespunde unei presiuni de aproximativ 1 000 barii sau 0,0025 W/cm².

Atît limita inferioară de intensitate, cît și cea superioară, depind și de frecvența sunetului: la frecvențe foarte joase și foarte înalte, intensitatea auditivă este mai mică. Valoarea optimă a intensității se află în jurul frecvenței de 1 000 Hz.

c) **Intensitatea auditivă.** Intensitatea vibrației izvorului sonor, adică a factorului care excită analizorul auditiv, se numește *intensitate acustică* sau *sonoră*, și am examinat-o la descrierea calităților fizice ale sunetului; intensitatea senzației auditive se numește *intensitate auditivă* și o vom examina în cele ce urmează.

Urechea umană percepe diferit de intens diferitele sunete. Din toată gama audibilă, urechea este foarte sensibilă pentru sunetele de frecvență cuprinsă între 1 000 și 4 000 Hz. În această zonă percepem pînă și undele sonore pentru care variația de presiune este de mii de ori mai slabă decît presiunea pe care o exercită, de exemplu, un tînar așezat pe mină. Pe timpan, aceasta corespunde unei presiuni de $0,000\,02$ dine/cm²; amplitudinea mișcării timpanului este în acest caz a zecea milioana parte dintr-un milimetru, adică de cîteva ori mai mică decît lungimea de undă a luminii. Pentru a concretiza intuitiv această sensibilitate a urechii noastre trebuie să arătăm că, dacă această sensibilizare ar fi numai de 10 ori mai mare, am putea auzi ciocnirile moleculelor.

Experiența a arătat că intensității perceptibile celei mai slabe îi corespunde o presiune eficace în aer, de $0,000\,41$ barii $= 4,046 \cdot 10^{-10}$ at., iar celei mai puternice intensități îi corespunde valoarea de $3\,000$ barii $= 2,961 \cdot 10^{-3}$ at.; analizorul auditiv uman este deci foarte sensibil, el sesizînd, sub formă de sunete, variații de presiune de miliardimi de atmosferă. Urechea percepe de asemenea o variație a sunetului cînd frecvența acestuia se deosebește cu 0,3% de cea a altui sunet. În afară de aceasta, urechea poate separa dintr-o oscilație complexă componentele fundamentale, și invers, din frecvențe separate poate sintetiza sunete complexe.

d) **Pragul de audibilitate.** Sensibilitatea urechii este caracterizată printr-o mărime numită prag de audibilitate: cu cît sensibilitatea este mai mare, cu atît pragul de audibilitate este mai coborît.

Pragul de audibilitate (sau limita inferioară de audibilitate) se numește presiunea sonoră minimă a unei vibrații de anumită frecvență, care poate fi percepută de ureche numai într-un mediu perfect liniștit; dedesubtul acestei intensități-limită, nu mai poate fi auzit sunetul. Uneori se extinde noțiunea de prag, de la o frecvență dată, la un sunet complex (muzică, vorbire). Drept nivel 0 la frecvența normală, de 1 000 Hz, a fost admisă intensitatea sonoră de 10^{-16} W/cm² sau, în sistemul C.G.S., 10^{-9} erg/cm²/s; aceasta corespunde unei valori medii a presiunii sonore determinată de formula

$$P_0 = 0,000\,207 \sqrt{\frac{H}{760}} \sqrt{\frac{273}{T}},$$

unde H este presiunea măsurată în mm Hg, iar T este temperatura absolută în °K.

La 20° și 760 mm Hg, P_0 are valoarea $0,000\,204$ barii (dine/cm²).

Limita inferioară de audibilitate variază, după cum am spus, cu frecvența: cînd frecvența sunetului se micșorează, capacitatea noastră de a-l auzi se micșorează de asemenea, și deci pragul de audibilitate crește. Astfel, pentru a fi perceput, un sunet de 100 Hz trebuie să fie mai intens decît unul de 3 000 Hz.

Reprezentînd grafic limitele inferioare și superioare de intensitate audibilă ale unui subiect pentru diferitele frecvențe, se obțin două curbe, care închid

o arie numită suprafața de audibilitate (fig. 228). Această suprafață este mai mică la un subiect cu auzul slab decât la unul cu auzul normal; pragul dureros rămâne neschimbat de cele mai multe ori, în timp ce pragul de audibilitate se apropie de cel dureros. Raportul dintre suprafața de audibilitate a unui subiect cu auzul slab și cea a unui subiect cu auzul normal dă indicații asupra gravității afecțiunii auditive, la subiectul examinat.

Dacă nu ar exista dependența de frecvență a intensității auditive, s-ar putea folosi scara decibelică și pentru măsurarea intensității auditive, nu numai a celei sonore.

Barii

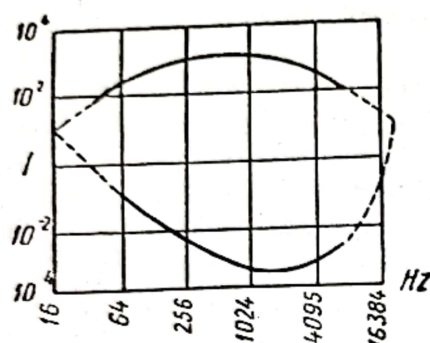


Fig. 228 — Limitele de intensitate audibilă pentru diferite frecvențe (curba Wegel).

Intensitatea auditivă se măsoară în *fon*.

Nivelul de intensitate auditivă N_a măsurat în foni este prin definiție

$$N_a = 10 \log \frac{I}{I_0} = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ foni},$$

în care I_0 este intensitatea corespunzătoare pragului inferior de audibilitate pentru sunetul de 1 000 Hz, numit sunet normal; p_0 reprezintă presiunea sonoră eficace a acestui sunet la pragul inferior de audibilitate; I reprezintă intensitatea și p reprezintă presiunea sonoră eficace a unui sunet normal de 1 000 Hz care ar produce o senzație auditivă la fel de intensă cu a

sunetului de măsurat. Pentru un sunet de 1 000 Hz, numărul decibelilor va fi egal cu numărul fonilor.

Redăm în tabelul 32 câteva valori ale intensității auditive în foni, precum și valorile corespunzătoare ale intensității acustice în $\text{wați}/\text{cm}^2$ și ale presiunii onore eficace în barii, cu exemplificări.

Tabelul 32

Legătura dintre nivelul de intensitate auditivă în foni și intensitatea acustică în W/cm^2 (cu exemple)

Intensitatea auditivă (foni)	Intensitatea acustică (W/cm^2)	Presiunea sonoră eficace (barii)	Exemple
0	10^{-16}	$2 \cdot 10^{-4}$	Limita inferioară de audibilitate
10	10^{-15}		Freacățul frunzelor
20	10^{-14}	$2 \cdot 10^{-3}$	Vorbire în șoaptă
30	10^{-13}		Stradă liniștită, fără trafic
40	10^{-12}	$2 \cdot 10^{-2}$	Ruperea hirtiei
50	10^{-11}		Vorbire obișnuită
60	10^{-10}	$2 \cdot 10^{-1}$	Vorbire tare
70	10^{-9}		Zgomot puternic al străzii
80	10^{-8}	$2 \cdot 10^0$	Tipăt
90	10^{-7}		Clacson puternic de automobil
100	10^{-6}	$2 \cdot 10^1$	Roată de motor (maximum)
110	10^{-5}		Lucrarea unei plăci de oțel cu ciocanul
120	10^{-4}	$2 \cdot 10^2$	Zgomotul avionului la 4 m depărtare
130	10^{-3}		Pragul dureros

Pentru intensitățile acustice se poate folosi și o scară fizică (în $\text{wați}/\text{cm}^2$), pe lângă scara decibelică; aceasta din urmă, fiind o scară logaritmică, are avantajul de a da valori numerice mici și de a permite scoaterea în evidență

a diferenței dintre senzațiile auditive produse de două sunete de aceeași frecvență, dar de intensitate decibelică diferită și cunoscută.

Pentru determinarea intensității auditive, folosirea scării decibelize nu este necesară, scara fonică servind mai bine, deoarece are o semnificație reală. Astfel, valoarea zero foni corespunde oricărui sunet care dă omului o senzație nulă, indiferent de intensitatea mecanică pe care o are acest sunet; valoarea zero în scara decibelică arată o anumită putere pe cm^2 , indiferent dacă această vibrație este percepută sau nu. De asemenea, nu există sunete a căror intensitate auditivă să aibă o valoare negativă în foni, pe cînd în beli întîlnim valori negative.

În afară de condițiile de frecvență și intensitate, o vibrație, pentru a putea fi percepută ca sunet, trebuie să dureze un anumit interval de timp. Urechea, pentru a putea percepe înălțimea unui izvor sonor, trebuie să primească unde sonore timp de aproximativ $1/100$ s; astfel, pentru un sunet cu frecvența de 1 000 Hz trebuie să primească cel puțin 10 vibrații.

5. AUDIOMETRIE

Metoda de măsurare practică a capacității de percepere a intensității auditive a diverselor sunete se numește audiometrie.

Multă vreme s-a folosit pentru măsurarea acuității auditive căutarea pragului de audibilitate cu ajutorul unui ceasornic pe care medicul îl îndepărta mai mult sau mai puțin de urechea subiectului. Această evaluare este cu totul aproximativă, însă are avantajul de a fi expeditivă. Ea se bazează pe faptul menționat, că intensitatea bătailor auzite variază în raport invers cu pătratul distanței de la izvorul sonor la ureche.

O altă metodă de evaluare a acuității auditive se bazează pe excitarea, cu o forță variabilă, a unui corp sonor; acesta produce un sunet de anumită frecvență, dar intensitatea acestor vibrații depinde de energia folosită pentru excitare, așa că și intensitatea lor auditivă este mai tare sau mai slabă; ele pot fi astfel auzite mai de departe sau mai de aproape.

a) **Audiometre.** Audiometrul (acumetrul) Magnus este compus în principiu dintr-un diapazon excitat cu ajutorul unei bile de lemn care cade de la diferite înălțimi și, lovind diapazonul, îi dă vibrații de amplitudine diferită. Măsura acuității auditive a subiectului este dată de înălțimea de cădere a bilei care provoacă producerea sunetului-limită perceptibil pentru subiectul așezat cu urechea la o distanță fixă de aparat.

Metodele empirice menționate: bătăile ceasului, acumetrul cu bilă, cum și altele similare, tijele acustice ale lui König, vorbirea cu voce tare sau slabă pentru a se căuta pragul de audibilitate, sînt din ce în ce mai puțin utilizate. În clinică se mai utilizează diapazonul, îndeosebi la controlul conducerii osoase.

Metodele empirice nu sînt perfect comparabile, nu permit o standardizare reală, curbele de sensibilitate obținute fiind de o precizie problematică.

Acuitatea auditivă a început a fi măsurată rațional în 1920, datorită dezvoltării audiometriei electrice.

În prezent sînt utilizate audiometre perfecționate, atît electrice, cît și electronice. Audiometrele electrice au adus o mare schimbare în controlul auzului, standardizînd frecvența și intensitatea, atît pentru conducerea aeriană, cît și pentru cea osoasă. Audiometrele moderne acoperă o zonă de frecvențe care se întinde de la 64 la 16 384 Hz.

Pentru reproducerea electromecanică a sunetelor necesare cercetării acuității auditive s-au realizat audiometre practice care permit determinarea

precisă a pragului de audibilitate pentru diferitele frecvențe audibile. Aceste aparate reproduc sunete muzicale pure, amplificate printr-un montaj cu tuburi electronice; reglarea intensității se face cu ajutorul unor potențio-metre obișnuite.

Subiectul ascultă sunetul cu o cască telefonică sau la un difuzor. În acest din urmă caz, pentru a se elimina efectul suprapunerii sunetului reflectat peste cel incident, difuzorul și subiectul sînt totdeauna așezați în același loc, într-o cameră specială de examinare. Se determină astfel pragul de audibilitate pentru anumite frecvențe.

b) **Audiograme.** Audiometrul permite înregistrarea caracteristicilor auditive. Curba construită se numește audiogramă. Ea se compară pe de o parte cu o curbă etalon, numită curba Wegel (redată în fig. 228), care este audiograma unui subiect normal; pe de altă parte, audiograma are o valoare absolută și durabilă pentru un anumit subiect, și după tratament poate servi drept curbă de comparație.

După cum se vede, audiograma este reprezentarea grafică a sensibilității auditive; ea trebuie să redea caracterele deficiențelor de sensibilitate și de calitate ale auzului. Audiograma arată în mod simplu abaterile de la caracteristicile unei „urechi normale”.

De altfel, noțiunea de „ureche normală” este greu de definit, examenul audiometric arătînd existența unor mari variații în sensibilitatea analizorului auditiv al diferiților oameni care nu prezintă nici un fel de afecțiune.

La un subiect cu urechea normală, auzul slăbește cu înaintarea în vîrstă. Variația de sensibilitate cu frecvența în funcție de vîrstă a fost determinată la un mare număr de oameni cu ureche normală. În tabelul 33 este redată această variație pentru patru grupe de vîrstă, între 20 și 60 de ani.

Tabelul 33

Slăbirea auzului cu vîrsta (decibeli)

Vîrsta ani	Frecvența în Hz			
	60—1 024	2 048	4 096	8 192
20—29	0	0	6	6
30—39	0	0	16	11
40—49	0	2	18	16
50—59	0	3	30	32

6. ZGOMOTELE

Zgomotul este o succesiune de sunete dezordonate de frecvență și intensitate variabilă, mergînd de la sunetele percepute numai de ureche și pînă la vibrațiile percepute de întregul organism, adică trepidații de frecvență sonoră.

Zgomotul nu este ascultat cu plăcere. El este nociv pentru cei nevoiți să muncească într-un mediu în permanență zgomotos sau să se afle în acest mediu timp mai îndelungat.

Cercetînd nocivitatea zgomotului după calitățile sunetelor găsim că din cauza înălțimii sunetului suferă mecanicii, lăcătușii, strungarii, care au de suportat fluieratul mașinilor, zgomotele ascuțite din ateliere, provenite din pilirea și tăierea metalelor etc.

Din cauza intensității sunetelor, adică a cantității de energie primită ca presiune sonoră, suferă muncitorii din uzinele unde se produc zgomote

intense din cauza ciocanelor mecanice, din mine și din cariere din cauza zgomotului produs de perforatoarele pneumatice, pușcașii din cariere care folosesc explozibilele, mînuitorii armelor de foc mici și mari etc.

Din cauza *timbrului* sau, mai bine zis, a lipsei de timbru, a disonanței, a amestecului de sunete, suferă cazangiii, tinichigiii etc.

De asemenea, din cauza duratei prelungite a zgomotelor suferă dactilografii, telegrafiștii, linotipiștii, mașiniștii din diferite industrii, șoferii de autocamioane etc. Zgomotele repetate cauzează perturbări în urechea internă, provoacă tulburări ale sistemului nervos, influențează în rău digestia. Tehnica securității muncii și protecția muncii impun introducerea unor dispozitive nezmotoase sau amortizarea zgomotelor.

Astfel, se pot da ca exemple de mijloace de înlăturare a zgomotelor trecerea de la operațiile foarte zgomotoase de nituire și cizelare manuală (în construcția de mașini, cazane, vapoare, schelete de construcții etc.) la sudura electrică sau la nituirea hidraulică nezmotoasă.

În mine și cariere, în locul perforatoarelor pneumatice, care dau trepidatii puternice și zgomote mari, amplificate de structura galeriilor, se introduc perforatoare electrice și ciocane de abataj fără zgomot. În vehicule se amortizează la ferestre, prin benzi de cauciuc, vibrațiile mecanice care devin sonore.

B. FONAȚIA

Fonația este un proces complex care constă din emiterea unor sunete de către organul vocal uman.

1. ORGANELE FONAȚIEI

Organul principal al vorbirii este laringele. Acesta are forma unei pîlnii al cărei tub este traheea.

Laringele prezintă două îndoituri numite coarde vocale inferioare; acestea sînt formate din ligamente acoperite cu mucoase, avînd în structura lor și mușchi, ceea ce le dă proprietăți contractile.

Coardele vocale se pot apropia și depărta, datorită mișcării cartilajelor aritenoidale, mărind și micșorînd orificiul dintre ele; aceste mișcări fac să varieze în același timp și întinderea coardelor vocale.

Deasupra coardelor vocale inferioare se găsesc alte două îndoituri, coardele vocale superioare. Cele două perechi de coarde vocale delimitează deschiderea numită glotă. Între coardele vocale superioare și cele inferioare se găsește, în ambele părți, cîte o cavitate numită ventriculul lui Morgagni (fig. 229).

Sunetele vocale se formează în laringe, acesta funcționînd ca un tub sonor cu aerul pulmonar. La emiterea sunetului se observă o contracție a coardelor vocale și o îngustare a glotei. După aceasta, sub acțiunea efortului expirator, curenții de aer trece prin glotă, în timp ce coardele vocale intră în vibrație, așa cum se poate vedea la examenul făcut cu oglinda laringoscopică.

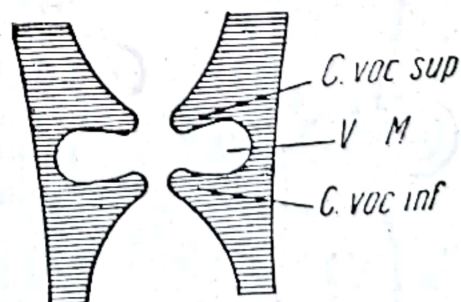


Fig. 229 — Secțiune schematică prin laringe.

2. TEORIILE FONATIEI

Pentru a explica producerea sunetelor vocale și consonante s-au formulat o serie de teorii, dintre care vom examina pe cele mai importante.

a) **Teoria lui Müller.** Multă vreme s-a admis existența unei acțiuni directe a aerului asupra coardelor vocale care ar vibra ca lamele (membranele, platinele) unor instrumente de suflat, transmitând vibrațiile lor aerului din laringe. În această teorie, înălțimea sunetului este dată de gradul de întindere a coardelor vocale, precum și de alte modificări fizice ale acestora în legătură cu grosimea și elasticitatea lor.

Rolul cel mai important l-ar avea contractarea și relaxarea mușchilor tensori ai coardelor vocale inferioare, în timp ce coardele vocale superioare și ventriculii lui Morgagni ar avea numai un rol secundar, de rezonanță, în producerea sunetelor.

Teoria aceasta nu poate însă rezista obiecției că este nevoie de o mare forță tensoare pentru a se putea trece, de la un sunet, la octava lui superioară, conform legii coardelor sonore exprimată prin formula

$$v = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\pi r^2 \rho}}$$

sau, sub altă formă

$$v = \frac{1}{2rL} \sqrt{\frac{mg}{\pi \rho}}$$

care arată că frecvența v este direct proporțională cu rădăcina pătrată a forței tensoare F și invers proporțională cu lungimea L , cu raza r și cu rădăcina pătrată a densității ρ a substanței din care este făcut corpul ce vibrează.

Calcululele arată că forța tensoare F care trebuie să întindă coardele vocale numai pentru o singură octavă este de câteva kilograme, forță care nu poate fi furnizată de mușchii laringelui ce întind coardele vocale.

b) **Teoria lui Savart.** Această teorie este admisă în general, fiind mai veridică; ea acordă coardelor vocale un rol secundar. Mișcarea coardelor nu este cauza sunetului, ci efectul vibrației de ansamblu a laringelui, sub acțiunea vârtejurilor de aer numite *cicloanele lui Loozens*.

Teoria lui Savart admite că rolul principal în producerea sunetelor îl au ventriculii lui Morgagni.

Laringele poate fi comparat cu un fluier de formă specială, folosit

mai ales de vânători (fig. 230). Acest fluier este un instrument muzical simplu, format dintr-o cutie turtită, cu două deschideri opuse, una prin care se suflă curentul de aer și alta prin care iese acest curent. În partea lătită a acestui instrument muzical, în virtutea legii dinamicii gazelor, se formează vârtejuri, iar acestea, prin vibrațiile produse, dau naștere sunetului. La fel și în laringe, curentul de aer venit din plămâni formează vârtejuri în ventriculii lui Morgagni, și astfel iau naștere sunetele vocale.

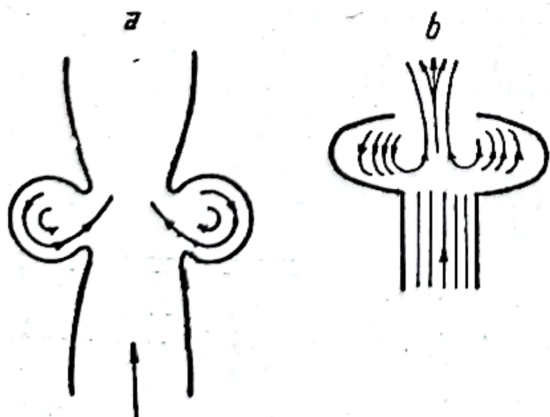


Fig. 230 — Comparatie între laringe (a) și fluierul rustic (b).

O experiență simplă ilustrează mersul curenților de aer în cazuri similare: suflând prin tubul unei pîlnii (fig. 231) asupra flăcării unei luminări, aceasta nu se va rezimți dacă se află așezată în axa pîlniei (a), dar se înclină mult și chiar se stinge dacă apropiem luminarea de peretele pîlniei (b), fiindcă acolo se formează curenți de aer puternici.

Înălțimea sunetului dat de fluierul asemănător laringelui variază cu viteza curențului de aer și cu volumul aparatului. Acest fapt se verifică și la laringe. Pe cadavru s-a observat că, mărind forța curențului de aer, sunetul se urcă cu o cvintă. Sunetul vocii este cu atât mai înalt cu cît dimensiunile laringelui sînt mai mici. La copii și la femei, laringele fiind mai mic, vocea este mai înaltă decît la bărbații adulți.

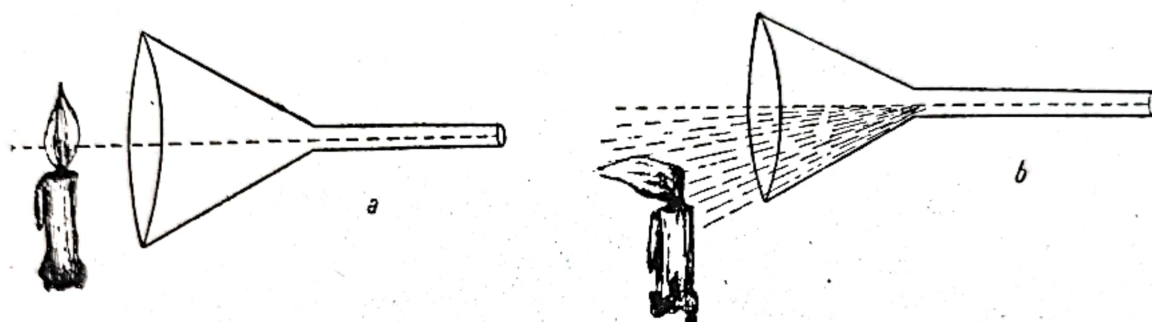


Fig. 231 — Drumul curenților de aer.

3. VOCEA

Vocea omului adult se întinde între limitele a două game; acestea diferă după sex, vîrstă și constituție. Emisiunea vocală nu constă numai din sunetele laringiene, ci și din suprapunerea altor vibrații, de rezonanță, ale diferitelor cavități ale organismului. Sunetele joase sînt însoțite de o vibrație a pereților toracici, iar pentru sunete înalte, rezonanța are loc mai ales în cavitățile supralaringiene.

a) **Timbrul vocii** este datorit rezonanței faringelui, gurii și foselor nazale, a căror formă și mărime sînt diferite la diverși indivizi și pot lua valori variabile chiar la același individ. Timbrul depinde de natura regiunilor active (pereții moi, bolta osoasă, dinții), de capacitatea și de forma cavității faringiene dintre glotă și strîmtoarea palatino-linguală, care are rol de rezonator, de gradul de deschidere a orificiului palatino-lingual, de acțiunea buzelor și a orificiului labial.

Între cavitatea buco-faringo-nazală și cavitatea traheo-bronșică, care sînt, din punct de vedere acustic, rezonatori complecși, există numeroase posibilități de acord armonic, care pot contribui la formarea timbrului vocii.

b) **Vocale și consonante.** În procesul fonației, care constă în emiterea unor sunete complexe, se constată că importanța cavităților superioare crește în detrimentul laringelui.

Sunetele complexe se împart de obicei în două categorii: vocale și consonante. Vocalele se deosebesc între ele prin forma diferită pe care o ia gura, așa cum se vede pentru vocalele A, I, U, în fig. 232. Spre deosebire de ipotezele mai vechi, care atribuiau vocea numai

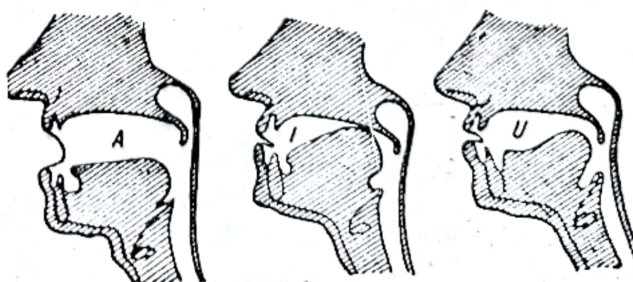


Fig. 232 — Forma gurii pentru vocalele A, I, U.

vocalelor, se admite azi că sunetul vocii nu aparține numai vocalelor, ci și conșonanțelor.

După Helmholtz, conșonanțele se produc printr-o strîmtare mai mare a anumitor regiuni ale rezonatorilor buco-faringieni, precum și prin variațiile strîmtorii palatino-linguală. Limite precise între vocale și conșonante nu există, fiindcă, de la vocala cea mai deschisă (*a*) și pînă la conșonanta cea mai închisă (*t*), strîmtarea orificiului palatino-lingual se face progresiv.

Cercetările au arătat că puterea sonoră medie a vocii omenești este foarte mică; ea corespunde valorii de $10 \mu\text{W}$. Se poate calcula că, dacă populația unui oraș de 3 milioane locuitori ar vorbi simultan, puterea sonoră totală nu ar fi suficientă pentru a aprinde o lampă electrică cu incandescență de 50 W.

Puterea medie o au vocalele *A*, *O*, *U*, *I*, mai ales cînd au frecvențe joase, de la 400 la 800 Hz.

C. METODE ACUSTICE MEDICALE

Aplicațiile medicale ale fenomenelor acustice sînt numeroase și variate. În afară de aplicațiile fiziologice și medicale întîlnite în diferitele paragrafe anterioare ale acestui capitol, trebuie să aruncăm o privire și asupra metodelor și aparatelor acustice folosite în medicină pentru studiu, diagnostic și tratament.

1. STETOSCOPIE

Percuția toracelui dă o sonoritate caracteristică, din cauza plămînului plin de aer, în timp ce în regiunea ficatului se constată o mătitate. Diferența de sonoritate se datorește rezonanței caracteristice, care depinde de structura mecanică a fiecărei regiuni.

Auscultarea se poate face cu urechea aplicată direct pe corp, dar se preferă auscultarea cu diferite aparate numite stetoscoape.

Stetoscopul poate fi un tub simplu de lemn sau de ebonită (fig. 233), cum era folosit încă în secolul trecut, sau poate fi biauricular, cu sau fără tuburi de cauciuc, așa cum este folosit acum (fig. 234).

Datorită cuprinderii unui cîmp mai precis delimitat se pot auzi mai bine cu stetoscopul zgomotele produse în torace (plămînul, inima) și amplificate de acesta prin fenomenul de rezonanță; sunetele astfel amplificate sînt conduse apoi prin tuburile respective la urechea examinatorului.

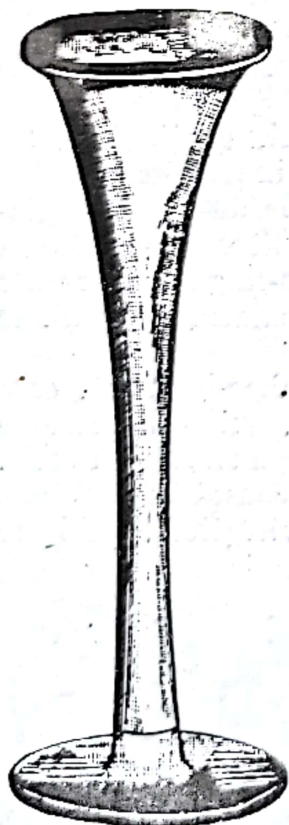


Fig. 233 — Stetoscop simplu.

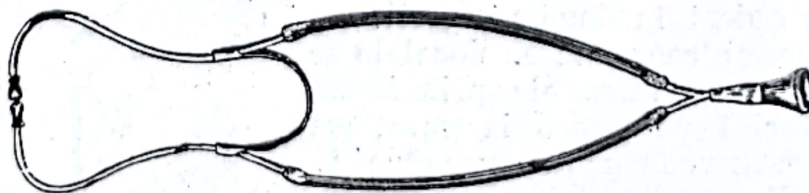


Fig. 234 — Stetoscop biauricular.

Stetoscopul biauricular are o parte care se aplică pe corp, formată dintr-o membrană care primește și transmite vibrațiile prin cele două tuburi de cauciuc ale căror capete se introduc în urechea medicului.

Fonendoscopul (fig. 235) este un aparat de auscultare-percuție, care servește pentru a delimita pe pielea bolnavului conturul organelor profunde. Fonendoscopul este format dintr-o capsulă de rezonanță, de formă cilindrică plată, cu aer, închisă printr-o membrană subțire de ebonită, de care este atașată o vergea metalică terminată cu un buton de ebonită. Pe fața opusă a capsulei se află prinse două tuburi lungi de cauciuc terminate cu câte un dispozitiv destinat a fi introdus în urechile examinatorului. Ținând aparatul cu o mână și apăsând butonul pe piele în dreptul organului examinat, se freacă ușor pielea sub pulpa degetului mare al celeilalte mâini în jurul butonului. Se aude astfel un zgomot intens care încetează aproape brusc de îndată ce s-a depășit conturul organului explorat. Cu un creion dermatograf se pot însemna pe piele diferitele puncte-limită; unindu-le, se obține conturul organului profund. Se poate delimita astfel ficatul, splina, rinichiul, intestinul, stomacul, inima și se pot constata modificările (forma inimii, de exemplu, după un efort, modificarea stomacului în timpul digestiei etc.).

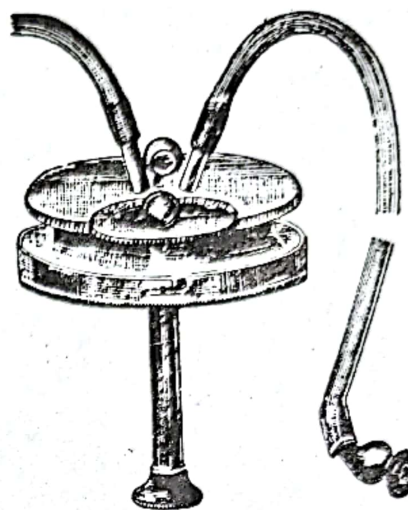


Fig. 235 — Fonendoscop.

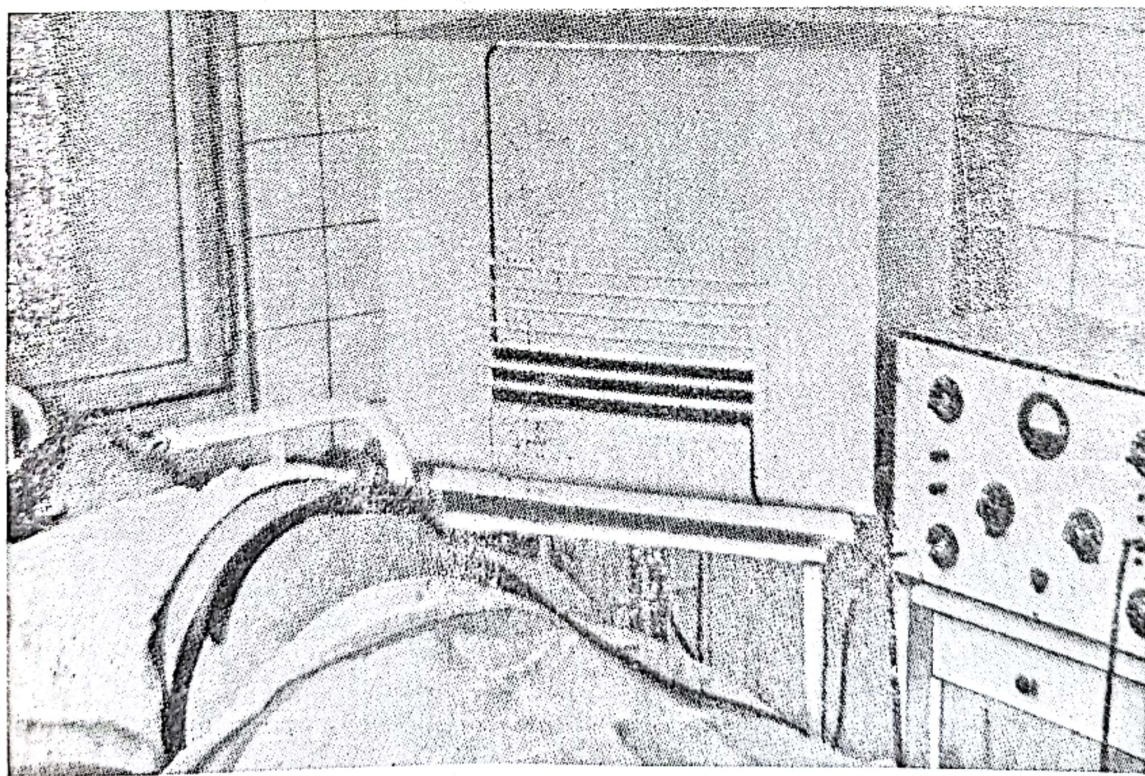


Fig. 236—Auscultarea cordului fătului în difuzor, cu ajutorul cardiofonului (Chirana).

Interpretarea fenomenelor acustice care au loc în organism, adăugată observațiilor clinice și examenului radiologic, are o importanță capitală în diagnostic.

Telestetofonia. Aplicând microfoane de contact legate cu aparate de amplificare electronică și de redare electroacustică, se poate ausculta și urmări starea unui bolnav în timpul operației, sub narcoză.

Pentru scopuri didactice, aplicând un microfon cu un manșon localizator pe pieptul subiectului, se aud bătăile inimii, respirația etc. în difuzor, de către întreaga asistență dintr-o sală de curs sau de demonstrație.

În fig. 236 este redată auscultarea în difuzor a bătăilor inimii fătului cu ajutorul unui aparat numit cardiofon.

Ameliorarea auzului. Pentru ameliorarea auzului se întrebuintau mai înainte tuburi în formă de pilnii, numite cornete acustice. Aceste cornete culeg sunetele de pe o suprafață mai mare a frontului de undă sonoră, și le aduc pe o suprafață mai mică a timpanului, prin conductul auditiv extern.

În prezent se întrebuintează aparate electroacustice de diferite construcții; aparatele electroacustice pentru ameliorarea auzului sînt în principiu de două categorii: ambele posedă ca elemente esențiale un microfon, un amplificator, un receptor telefonic, baterii electrice de alimentare, cordon conductoare etc.

În aparatele de tip mai vechi se folosește microfonul cu pulbere de cărbune, amplificatorul fiind de obicei un dispozitiv de transformare care ridică intensitatea vibrațiilor la puterea necesară unei bune audii, dar ridică în același timp și frecvența, sunetele mai înalte fiind percepute mai ușor decît cele mai joase, la aceeași intensitate.

Aparatele moderne au amplificare cu tuburi electronice și microfonul cu cristal (construit pe principiul efectului piezoelectric, pentru vibrații de frecvență audibilă). Aceste aparate sînt mult mai sensibile și au reproducerea foarte fidelă. Progresele realizate în fabricarea lămpilor electronice de format foarte mic au contribuit mult la ameliorarea randamentului și la micșorarea formatului și greutății aparatelor de ameliorare electroacustică a auzului (fig. 237). Aparatul este purtat în buzunar, cit mai aproape de nivelul urechii; curenții microfonului amplificați acționează asupra unui receptor cu membrană elastică, care poate fi aplicată pe pavilionul urechii sau înapoia urechii. Vibrațiile amplificate ale sunetului sînt astfel transmise, fie prin aer (prin conductul auditiv extern, la timpan), fie prin oasele din jurul urechii, la urechea mijlocie, așa cum am arătat mai înainte. Conducerea osoasă depinde de anumiți factori: așezarea și presiunea exercitată de sistemul vibrator asupra osului mastoid, grosimea pielii, suprafața capului, asimetria craniului etc.

Receptorii cu transmiterea sunetului amplificat prin aer sînt în general de tip electromagnetic. Amplificarea de conducere prin aer este indicată pentru bolnavii care au tulburări ale urechii interne.

Tipul de aparate cu conducere osoasă și prin aer este utilizat cînd urechea medie funcționează defectuos. Aparatele de conducere osoasă sînt utilizabile numai în cazul unei conduceri osoase normale.

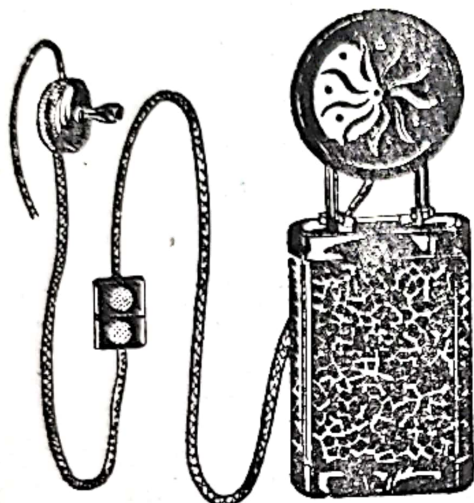


Fig. 237 — Aparat pentru ameliorarea auzului.

OPTICA

Optica este partea din fizică ce studiază lumina.

I. LUMINA

Lumina este un fenomen ondulator, obiectiv. Ea pune în legătură organismele cu mediul, producând, prin mijlocirea analizorului vizual, senzația subiectivă de vedere.

Cercetările și progresele științei și tehnicii au făcut să se generalizeze în fizică noțiunea de lumină prin extinderea ei la un ansamblu mai vast de fenomene energetice obiective, de aceeași natură, fie că sînt sau nu percepute de ochiul nostru: exemplu pentru această generalizare este noțiunea de lumină ultravioletă, pe care ochiul omenesc nu o vede.

A. IZVOARE DE LUMINĂ

1. IZVOARE LUMINOASE ȘI IZVOARE LUMINATE

Izvoarele de lumină sînt de două categorii: izvoare naturale și izvoare artificiale. Dintre izvoarele naturale, cel mai important este Soarele. Stelele ne trimit și ele lumină, dar cantitatea de energie luminoasă este foarte mică din cauza mării depărtări.

Dintre izvoarele de lumină naturale, unele au lumină proprie, cum sînt Soarele și stelele; alte izvoare naturale nu au lumină proprie, ci reflectă lumina primită de la un corp luminos. În această categorie se află Luna, satelitul Pămîntului, precum și planetele care reflectează pe Pămînt lumina primită de la Soare.

Dintre izvoarele artificiale de lumină, unele au lumină proprie, indiferent de calea pe care este produsă: în această categorie sînt cuprinse toate mijloacele iluminatului artificial, începînd de la opaiț, candelă, luminare, lampă de ulei, de petrol, și pînă la arcul electric, lampa electrică cu incandescență și lampa cea mai nouă, lampa fluorescentă. O altă categorie de izvoare artificiale de lumină este constituită din dispozitive care dau lumină reflectată; acesta este cazul iluminatului indirect, în sălile de curs, de spectacol, de desen etc., cînd lămpile au reflectoare îndreptate în sus, spre tavan, sau spre partea superioară a pereților, care, astfel luminați, reflectă lumina în jos. În acest caz, pereții trebuie să aibă o culoare cît mai deschisă; ei difuzează lumina, furnizînd iluminarea indirectă necesară.

În rezumat, izvoarele de lumină sînt de două feluri: izvoare luminoase și izvoare luate. Se înțelege că numai izvoarele luminoase, adică cele cu lumină proprie, sînt izvoare adevărate de lumină, pe cînd cele luate, deși practic ne servesc și ele ca izvoare de lumină, totuși nu fac decît să reflecte lumina primită de la izvoare luminoase.

2. VITEZA LUMINII

Prima încercare de a determina viteza luminii a fost făcută de Galileu în 1607. În decursul ultimelor trei secole, numeroase măsurători au fost făcute pe cale astronomică, pe cale fizică etc. Măsurătoarea astronomică a fost făcută de Roemer (1675), Bradley (1725); metodele fizice au fost folosite de Fizeau (1849), Foucault (1868), Kerr (1875), Michelson, Cornu (1874) ș.a.

Toate măsurătorile au dat rezultate concordante pentru viteza luminii, care este considerată ca fiind de aproximativ 300 000 km/s.

În toate aceste metode s-a măsurat însă viteza luminii în aer. Pentru a se stabili care este viteza luminii în vid (stratul de aer fiind numai o infimă parte a spațiului pe care-l parcurge lumina în univers); s-a introdus în calcule valoarea indicelui de refracție al aerului.

Michelson a măsurat în 1932 viteza luminii folosind o prismă rotitoare: lumina se propaga într-un tub lung de 1,6 km, pe care-l parcurgea de 10 ori în ambele sensuri, așa că drumul luminii atinge valoarea de circa 16 km. Prin această măsurătoare s-a obținut pentru viteza luminii în vid valoarea $c = 299\,774 (\pm 2)$ km/s. În prezent se ia ca cea mai probabilă viteză c a luminii în vid valoarea $299\,776 (\pm 4)$ km/s sau, cu suficientă precizie, 299 800 km/s, iar ca valoare rotunjită $c = 300\,000$ km/s.

B. TEORIILE DESPRE LUMINĂ

Încă din antichitate s-au emis teorii asupra luminii. Aceste teorii erau de două categorii: idealiste și materialiste.

Una din teoriile idealiste admitea că din ochii omului pleacă particule de lumină care se duc la corpul luminos, îl pipăie, tot așa cum un animal pipăie cu ajutorul unor tentacule sau al unor antene, și astfel se ajunge la senzația de vedere. De atunci și pînă azi au rămas expresiile figurate ca „a arunca o privire”.

Teoriile materialiste au conceput lumina ca un fenomen material, obiectiv.

Dintre teoriile materialiste despre lumină, cele două mari teorii care au dominat cugetarea științifică timp de peste două mii de ani au fost: teoria emisiunii și teoria undulației.

Concepția materialistă despre lumină a avut reprezentanți și în antichitate. Aristotel admitea că lumina este un fenomen ondulator, pe cînd Empedocles presupunea că din corpurile luminoase pleacă particule incandescente care produc în ochiul omului și al animalelor senzația de lumină.

În secolul al XVII-lea, Descartes concepe lumina ca o undulație, și matematicianul Euler de asemenea; Kepler și Laplace susțin că lumina este o emisiune.

La sfîrșitul secolului al XVII-lea se concretizează cele două concepții sub forma a două teorii ale luminii.

Teoria emisiunii sau *teoria corpusculară* consideră lumina drept un flux de particule emise de un izvor luminos și care se propagă în spațiu în linie

dreaptă. Newton este considerat ca întemeietorul acestei teorii, deși în „Optica” sa, apărută în 1704, el adopta și concepții ondulatorii, în unele privințe, pe lângă concepția corpusculară.

Teoria ondulatorie considera lumina ca un fenomen asemănător celui sonor și admitea propagarea unor unde într-un mediu ipotetic foarte subtil și foarte elastic în același timp, numit eter universal sau eter cosmic.

Teoria undulației a avut drept protagonist pe Huyghens (1678), contemporan al lui Newton și adversar al teoriei corpusculare. În lucrarea sa, „Tratat despre lumină”, apărută în 1690, Christian Huyghens (1629–1695) susține că lumina se propagă ca și sunetul, prin suprafețe sferice concentrice, pe care le numește unde, prin analogie cu undele care se formează pe suprafața unei ape când aruncăm o piatră în ea.

Prima încercare de a demonstra direct natura ondulatorie a luminii a fost făcută de Lomonosov, care a încercat să lege mișcările vibratorii luminoase de mișcările vibratorii ale particulelor materiale. În 1756, Lomonosov a prezentat Academiei de științe din Petersburg disertația sa „Cuvînt despre originea luminii”, în care critica teoria corpusculară.

Teoria ondulatorie a fost completată abia la începutul secolului al XIX-lea. Sutele de experiențe ingenioase și precise, făcute mai ales de Fresnel, au explicat prin teoria ondulatorie toate fenomenele luminoase: interferența, difracția, polarizarea etc. S-a stabilit cu destulă precizie că undele luminoase au o lungime foarte mică: între 0,76 și 0,40 microni.

Teoria ondulatorie a luminii prezenta astfel, în prima jumătate a secolului trecut, vibrațiile luminoase sub forma unor oscilații mecanice, elastice, ale unui mediu continuu, numit eter universal.

În a doua jumătate a secolului trecut, în epoca descoperirii undelor electromagnetice și a interdependenței dintre fenomenele luminoase și cele electromagnetice, a luat naștere *teoria electromagnetică* a luminii. Această teorie a avut un rol deosebit de important în formarea noilor concepții electromagnetice despre lumină, care au avut drept bază lucrările fizicienilor materialisti Faraday, Stoletov, Maxwell, Hertz etc. Teoria electromagnetică, formulată matematic de Maxwell (1865) după calcule numeroase, admite că radiația luminoasă este o undă de dublă natură: electrică și magnetică.

La finele secolului al XIX-lea și începutul secolului nostru, descoperindu-se o serie de alte fenomene deosebit de interesante, cum este efectul fotoelectric, descoperit de A. G. Stoletov (1888) și numit de el fenomen actinoelectric, iar în 1901 demonstrîndu-se prin experiența lui N.P. Lebedev existența unei presiuni a luminii (cum vom vedea în paragraful următor), fizicienii au ajuns la concluzia că radiațiile luminii vizibile au proprietăți care nu mai corespund concepției ondulatorii.

În concepția ondulatorie, lumina era considerată ca un proces ondulator continuu; în același timp, substanța era considerată discontinuă, alcătuită din particule. Cum însă din experiențele și studiile amintite rezulta că masa este o caracteristică inherentă, nu numai a substanței, ci și a luminii, s-a ajuns a se echivala cantitativ masa luminii cu cea a substanței potrivit ecuației $E = mc^2$, unde c este viteza luminii. Faptele au arătat însă că, din punct de vedere calitativ, cele două mase se deosebesc una de alta. S-a dedus astfel că lumina posedă masă, dar că această masă nu este de natură mecanică, și deci nu reprezintă „o masă de repaus”, ci o „masă în mișcare”. Spre deosebire de celelalte corpuri fizice, lumina se caracterizează deci prin lipsa „masei de repaus” sau, în expresie matematică, masa ei de repaus este egală cu zero. Aceasta arată grăitor caracterul calitativ al luminii: întreaga ei masă este o masă în mișcare.

Concretizînd ideile, pentru o mai ușoară asimilare a noțiunilor, vom spune că nu ne putem închipui lumina în repaus relativ, așa cum se întîmplă cu un corp ce se mișcă și care, lovindu-se de un obstacol, se oprește; continuînd să existe și mai departe ca atare, el se află în repaus relativ. Dacă oprim însă lumina, așezînd în calea ei un corp absolut negru, aceasta va absorbi lumina și ea va suferi o transformare; va trece într-o altă formă a materiei în mișcare, în acest caz în forma calorică.

Lumina există deci numai în mișcare, ea avînd, după cum am arătat, viteza c . Putem astfel spune că, în timp ce substanța cuprinde formele de materie care posedă masa de repaus, lumina cuprinde forme materiale care nu posedă masă de repaus. Vom vedea în capitolul „Electricitatea” că această noțiune se extinde în general la cîmpuri, care sînt forme ale materiei.

Constatîndu-se că nu există o graniță absolută între substanță și lumină, ambele posedînd proprietatea masei, s-a admis că și în privința structurii fizice trebuie să existe o legătură între aceste două forme fizice ale materiei. Astfel s-a ajuns, la finele secolului al XIX-lea, la concluzia că, dacă substanța are structură discontinuă, lumina trebuie să aibă și ea aceeași structură.

Primul fapt constatat cu prilejul descoperirilor epocale ale lui Stoletov și Lebedev a fost caracterul discontinuu al luminii, paralel cu caracterul ei ondulator.

În 1900, fizicianul Max Plank dă o nouă interpretare luminii, în teoria cuantelor, enunțată de el. Faptele arată că lumina este emisă și absorbită în cantități discontinue, discrete, a căror valoare depinde de frecvență. Dovedirea structurii discontinue a fluxului luminos a readus în actualitate concepția existenței unor particule de lumină. Aceste particule au fost numite de Einstein fotoni. Această importantă descoperire științifică a fost generalizată mai tîrziu, luînd o importanță deosebită în fizica modernă; de ea este legată descoperirea faptului că energia are un caracter discontinuu, că lumina este discontinuă, că o dată cu undele de lumină există și particule de lumină, fotonii.

Energia fotonului $\epsilon = h\nu$ este deci funcție de frecvența ν a radiației luminoase, h fiind constanta universală a lui Plank și avînd valoarea de $6,624 \cdot 10^{-27}$ erg. s.

Energia unui foton este deci cu atît mai mare cu cît frecvența mișcării lui este mai mare, și deci cu cît lungimea lui de undă este mai mică.

La radiații cu frecvență mică, cum sînt de pildă radiațiile infraroșii, energia este atît de mică, încît este greu să se pună în evidență structura discontinuă a luminii; de aceea, lumina infraroșie prezintă mai mult proprietăți ondulatorii. La lumina vizibilă, energia fotonilor este mai mare, de aceea radiațiile luminoase vizibile prezintă proprietăți ondulatorii și corpusculare în același timp. La radiații cu frecvența foarte mare, de exemplu la razele röntgen sau la razele γ emise de substanțele radioactive, energia fotonilor este foarte mare, așa că proprietățile lor corpusculare se pot observa și studia mai ușor.

Lumina, în anumite condiții, se prezintă sub aspectul continuității, caracterului ondulator fiind relevant de propagarea ei și îndeosebi de fenomenele de difracție și interferență; în alte condiții, ea se prezintă cu latura de discontinuitate: cînd este radiată sau absorbită, aceste procese au loc sub formă de cantități discontinue, de cuante. Relația cuantică $\epsilon = h\nu$ intervine numai pentru interacțiunea dintre lumină și substanță (emisiune și absorbție).

Interdependența dialectică a fenomenelor a făcut să se atribuie nu numai luminii un caracter corpuscular, dar și substanței un caracter

ondulator. Concluziile la care au ajuns marii fizicieni din deceniile trecute au fost că la baza structurii trebuie să stea proprietățile comune ale celor două forme fizice ale materiei: substanța și lumina, și deci structura lor comună: ondulatorie și corpusculară.

În prezent concepem emisiunea luminoasă sub forma trecerii unui electron dintr-un atom, de pe o orbită mai depărtată de nucleu, pe o orbită mai apropiată de nucleu, deci trecerea electronului de la un nivel energetic mai mare la un nivel energetic mai mic. Aceste treceri de la un nivel energetic superior la unul inferior pun în libertate cantitatea de energie care constituie diferența dintre cele două stări energetice ale nivelurilor respective. Aceasta constituie energia radiantă, energia luminoasă, cum și celelalte radiații electromagnetice asemănătoare cu cele ale luminii, legate de fotoni.

Teoria modernă a luminii apare ca o sinteză. Fizicianul L. de Broglie a creat prin mecanica ondulatorie (1924—1927) un sistem care leagă de fiecare particulă în mișcare o undă. Lumina este astfel concepută ca o radiație electromagnetică legată de mișcarea fotonilor. Această concepție duce la concluzia că oscilațiile diferitelor feluri de energie radiantă sînt reprezentări diferite ale oscilațiilor electromagnetice.

Ea confirmă principiul de dezvoltare dialectică a naturii: o mișcare unică a materiei, reprezentată prin numeroase manifestări. Variația lungimii de undă duce la salturi calitative (fenomenul caloric se transformă în fenomen luminos, fenomenul luminos se transformă în fenomen electric etc.). Astfel se poate considera o scară a oscilațiilor electromagnetice, care cuprinde radiațiile pornind de la o lungime de undă de 0,1 X (a suta mia parte dintr-un milimicron) și pînă la 6 000 km.

Tabelul 34 cuprinde această scară de radiații cu lungimile de undă respective.

Tabelul 34

Radiația	Lungimea de undă
Raze cosmice	0,1 X = 0,001 Å
Raze γ	0,1 X — 1 X = 0,001 — 0,01 Å
Raze Röntgen	0,004 mμ — 15 mμ = 0,04 — 150 Å
Raze ultraviolete	5 mμ — 0,38 μ = 50 — 3 800 Å
Lumină vizibilă	0,38 μ — 0,76 μ = 3 800 — 7 600 Å
Raze infraroșii	0,76 μ — 343 μ = 7 600 Å — 0,343 mm
Unde herțiene centimetrice și milimetrice	0,1 mm — 10 cm
Unde herțiene (radio)	1 dm — 15 km
Oscilații încete (generatori)	15 — 6 000 km

C. PRESIUNEA LUMINII

Una din acțiunile luminii asupra materiei este presiunea pe care o exercită. Am arătat că studiul acestei presiuni a avut în secolul trecut un rol însemnat în dezvoltarea teoriilor despre lumină.

Enunțată de Kepler, ideea presiunii luminii a fost inspirată de teoria lui Newton privind emisiunea luminoasă: particulele de lumină, lovindu-se de corpurile care reflectă sau absorb lumina, trebuie să le transmită o parte din impulsul lor, adică să exercite o presiune asupra corpurilor pe care cad.

Calculule făcute au arătat că acțiunea reciprocă dintre lumină și corpuri dă naștere la o presiune a luminii asupra acestora. Această presiune depinde de intensitatea luminii. Astfel, s-a calculat că într-o zi luminoasă razele solare exercită o presiune de $0,4 \text{ mg pe m}^2$ de suprafață neagră, perfect absorbantă.

Presiunea luminii a fost pusă în evidență experimental și măsurată pentru prima oară de N. P. Lebedev (1901) cu ajutorul unui dispozitiv care constă dintr-un sistem rotitor ușor, suspendat de un fir subțire, la mijlocul căruia au fost lipite câteva perechi de aripioare foarte subțiri și ușoare, fiecare pereche având o aripioară înnegrită și una lucioasă. Sistemul acesta a fost așezat într-un balon din care s-a scos aerul cât mai complet posibil, pentru a se elimina efectul radiometric (rotirea datorită încălzirii diferențiale a aripioarelor și aerului din jur). El formează o balanță de torsiune foarte sensibilă (fig. 238). Concentrând lumina unui puternic arc electric printr-un sistem de lentile și oglinzi pe una din aripioare, se provoacă o răsucire a sistemului suspendat, răsucire care poate fi observată cu ajutorul unei lunete.

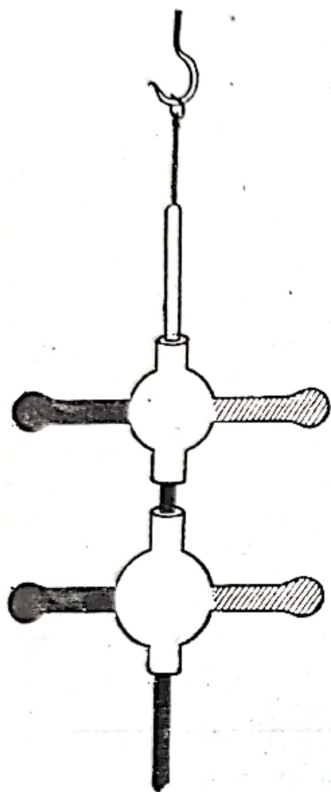


Fig. 238—Aparat pentru scoaterea în evidență a presiunii luminii (N. P. Lebedev).

Îndreptînd lumina pe fața anterioară și apoi pe cea posterioară, sensul rotirii se schimbă de fiecare dată. Acțiunea luminii asupra aripioarei lucioase, care reflectă radiațiile luminoase, este cam de două ori mai puternică decît asupra aripioarei înnegrite, care este absorbantă.

Lebedev (1909) a studiat pe cale experimentală și a adus soluții în problema măsurării presiunii luminii asupra gazelor.

D. RADIATIA LUMINOASĂ

Emisiunea și absorbția luminii se produc ca un rezultat al oscilațiilor electronilor din atomi. Așa cum am arătat, aceste fenomene au un caracter cuantic.

O serie de fenomene din domeniul emisiunii și absorbției luminii pot fi însă studiate mai ușor fără a le aprofunda mecanismul intim, ci numai considerîndu-le din punct de vedere energetic.

Radiația unui corp este însoțită de o pierdere de energie, fie proprie corpului, fie primită dinafară. Din acest punct de vedere există două categorii de fenomene de radiație: radiația termică, în care energia se primește din exterior, și radiația luminescentă, în care energia de radiație se produce pe seama energiei eliberate, fie în decursul unui proces chimic (chemiluminescența fosforului), fie pe seama unei energii de excitare, cum este cazul corpurilor, care, cînd sînt excitate cu radiații electromagnetice, devin și ele luminescente (cazul substanțelor fluorescente) etc.

Dacă se încălzește un corp greu fuzibil (cărbune, o bară metalică), se observă că începe să devină luminos pe la temperatura de 500° și capătă o culoare roșie-închis. Pe măsură ce crește temperatura, lumina devine mai vie, căpătînd alte radiații, cu lungimi de undă mai mică. La 1500° , corpul devine de o incandescență gălbuie strălucitoare. Dacă se urmărește la spectroscop lumina emisă de corpul incandescent, se observă că, pe măsură ce se

urcă temperatura, apare treptat cîte o zonă a spectrului continuu al luminii, începînd de la lumina roșie (în jurul lungimii de undă de 8 000 Å) și trecînd apoi treptat în restul spectrului vizibil. Cu ajutorul termoelementelor se pot detecta fenomenele termice la apariția radiațiilor calorice infraroșii, iar prin metode fotografice se pot urmări și radiațiile ultraviolete ale corpului care continuă să se încălzească.

1. REGULA LUI PREVOST

Prevost a stabilit la 1809 că, dacă două corpuri absorb cantități diferite de energie, atunci și emisia lor trebuie să fie diferită.

Aceasta se verifică prin experiența următoare: se ia drept corp radiant un vas G cu apă caldă, cu pereții plani (fig. 239), de puteri de absorbție termică diferite: unul din pereți este de metal bine lustruit și deci absoarbe foarte puțin, iar celălalt este acoperit de un strat negru de oxid de cupru și absoarbe în întregime energia care cade asupra lui. Ca receptor se întrebuițează un termometru cu gaz, al cărui rezervor Q constă de asemenea dintr-un vas metalic cu pereții din materiale de putere absorbantă diferită. După viteza cu care se dilată aerul din Q se poate aprecia cantitatea de căldură absorbită în unitatea de timp. Îndreptînd vasul G o dată cu perețele lucios și o dată cu cel negru spre termometrul cu gaz, se poate observa cum suprafețele lucioase radiază și absorb mai puțin decît cele negre.

Dacă se folosește un termometru cu gaz, construit (fig. 240) din două rezervoare cu gaz separate printr-o picătură de mercur, și așezînd vasul G astfel ca fața înnegrită să se opună celei lucioase a termometrului Q_2 , iar fața lucioasă să se opună feței înnegrite a termometrului cu gaz Q_1 , se constată că picătura de mercur rămîne pe loc, ceea ce arată că ambele rezervoare Q_1 și Q_2 primesc prin radiație aceeași cantitate de căldură.

După experiențele făcute de Ritchie-Melloni, regula lui Prevost se poate exprima astfel: puterea de absorbție a unei suprafețe oarecare este proporțională cu puterea ei de emisie.

2. LEGEA LUI KIRCHHOFF

Regula lui Prevost, arătînd legătura dintre capacitatea unui corp de a absorbi și a radia căldură, are însă numai un caracter calitativ.

După o jumătate de secol, Kirchhoff (1859) i-a dat forma unei legi cantitative, care are un rol fundamental în domeniul radiației termice.

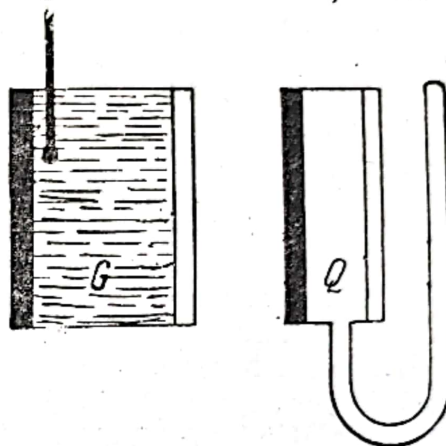


Fig. 239 — Emisiunea unei suprafețe lucioase.

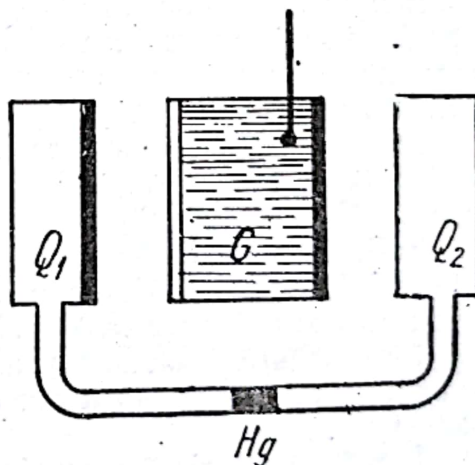


Fig. 240 — Experiența lui Ritchie.

Legea lui Kirchhoff se referă la raportul dintre puterea de emisie E a unui corp pentru lungimea de undă λ și temperatura absolută T și puterea de absorbție A pentru λ și T ; ea se enunță astfel: raportul dintre puterea de emisie și cea de absorbție a unui corp nu depinde de natura lui. Deci, raportul

$$\frac{E_{\lambda T}}{A_{\lambda T}}$$

este pentru toate corpurile o funcție universală de frecvență și temperatură, în timp ce, luate separat, E și A variază mult de la un corp la altul.

Pentru corpurile absolut negre, care au puterea de absorbție maximă, raportul de mai sus devine

$$\frac{E_{\lambda T}}{A_{\lambda T}} = \frac{\epsilon_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}},$$

și cum corpul negru are puterea de absorbție egală cu unitatea ($\alpha_{\lambda T} = 1$),

$$\text{avem } \frac{E_{\lambda T}}{A_{\lambda T}} = \epsilon_{\lambda T} = f(\lambda T);$$

această funcție, numită *funcția universală a lui Kirchhoff*, reprezintă puterea de emisie a unui corp absolut negru.

Legea lui Kirchhoff are numeroase și importante consecințe și se poate verifica prin experiențe ușor de realizat. Astfel, dacă se acoperă parțial cu negru de platină o foiță de platină și se încălzește pînă la roșu, partea neagră emite o lumină mult mai strălucitoare, fiindcă absoarbe mai mult radiațiile.

După legea lui Kirchhoff, fiecare sistem puternic absorbant va radia puternic, indiferent dacă absorbția puternică este condiționată de proprietățile suprafeței sau de structura întregului sistem. Pe acest principiu este bazată structura corpului care se apropie, prin proprietățile sale, mai mult de corpul perfect negru.

Presupunind că putem realiza un corp care să absoarbă complet, la orice temperatură, lumina de orice compoziție, puterea de absorbție a acestui corp va fi independentă de temperatură și egală cu unitatea pentru toate lungimile de undă. Un astfel de corp se numește corp absolut negru. Întrucît, prin definiție, puterea de emisie E_{λ} este funcție de distribuție a radiației după lungimile de undă, rezultă din relația $E_{\lambda} = f(\lambda, T)$ că toate corpurile negre au, la o temperatură dată, una și aceeași distribuție de energie, după lungimile de undă și că radiația tuturor corpurilor negre variază cu temperatura în același fel.

În natură nu există corpuri care să aibă proprietățile corpului perfect negru; putem însă construi anumite dispozitive care să se apropie prin însușirile lor de corpul perfect negru. Astfel, într-o incintă de formă sferică (fig. 241 a) sau cilindro-sferică (fig. 241 b), avînd o deschidere mică, orice radiație intrată prin această deschidere cade pe pereții incintei, este în parte absorbită, iar o altă parte este difuzată sau reflectată și cade din nou pe pereți. După un număr suficient de mare de reflectări și absorbții, numai o parte neglijabilă din razele intrate prin deschidere vor ieși prin ea, așa că puterea de absorbție a corpului A se apropie de unitate, pentru toate lungimile de undă.

Ca un exemplu simplu pentru o asemenea absorbție poate servi o fereastră mică, deschisă, a unei camere, privită dinspre stradă într-o zi luminoasă. Chiar dacă are loc o reflecție bună a luminii intrate, pe pereții de culoare deschisă ai camerei, fluxul luminos intrat nu mai iese înapoi în stradă prin fereastră, decît în mică parte. De aceea, fereastra privită din stradă pare neagră, oricare ar fi culoarea pereților interiori.

Revenind la incintele descrise mai sus, dacă pereții lor se găsesc la o temperatură de radiație T , se emite prin deschiderea C o radiație foarte apropiată de radiația corpului negru la aceeași temperatură T .

În practică, corpul negru se construiește în formă de tub lung și îngust, dintr-un material greu fuzibil. În interiorul tubului, pentru a se evita reflecțiile directe în cazul când lumina ar cădea oblic, se fac o serie de pereți despărțitori cu deschideri. Tubul se introduce într-un cuptor electric cu ajutorul căruia pereții se pot încălzi pînă la temperatura dorită T . Radiația care iesela capătul tubului este asemănătoare ca proprietăți cu radiația corpului perfect negru. Cu ajutorul unui astfel de corp negru se poate studia radiația termică pînă la temperaturi de ordinul $3\,000^\circ\text{K}$.

O aplicație a corpului negru este radiatorul integral, folosit ca etalon pentru unitățile fotometrice. Astfel, în U.R.S.S., de la 1 mai 1948, măsurile fotometrice au fost etalonate după o bază nouă, realizată prin lucrările lui P. M. Tihodeev. Pe baza elementelor admise în convențiile internaționale s-a creat un etalon nou de lumină, în formă de radiator integral, la temperatura de solidificare a platinei. Acest radiator integral va fi descris în capitolul despre „Fotometrie“.

Radiația corpurilor care nu sînt negre este mai mică decît a corpurilor negre, fiindcă ele au coeficientul de absorbție mai mic decît unitatea. Practic, fac parte din această categorie toate corpurile începînd de la negrul de fum, al cărui coeficient de absorbție este aproape 0,99, pînă la metalele foarte lucioase, pentru care coeficientul de absorbție nu trece de cîteva sutimi.

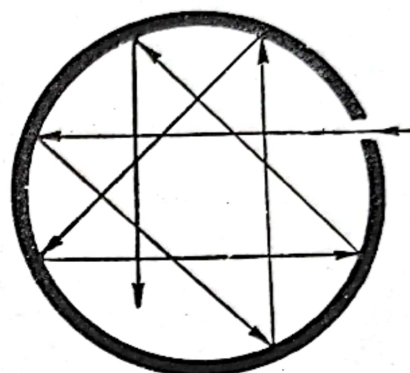
Legea lui Kirchhoff se referă numai la radiații termice și este atît de caracteristică pentru această categorie de radiații, încît se poate afirma hotărît că emisiunea luminoasă care nu se supune legii lui Kirchhoff nu este termică, ci luminiscentă.

3. LEGEA STEFAN-BOLTZMANN

Problema de bază în dezvoltarea studiului radiației termice a fost precizarea formei funcției $\epsilon_{\lambda T} = f(\lambda T)$; soluțiile s-au obținut însă pe etape. În primul rînd s-a determinat pe cale teoretică și experimentală legea radiației globale a corpului negru (lege descoperită de Stefan și Boltzmann); apoi au fost precizate unele proprietăți fundamentale ale funcției, lege descoperită de Wien, pentru ca abia la 1900 problema să fie rezolvată definitiv de Planck, cu prilejul elaborării teoriei cuantelor.

În prima din aceste etape, J. Stefan (1879), prin măsurătorile sale și studiul rezultatelor obținute de alți cercetători, a ajuns la concluzia că energia totală emisă timp de o secundă de un cm^2 dintr-un corp oarecare este proporțională cu puterea a patra a temperaturii absolute a corpului radiant.

În 1884, L. Boltzmann a arătat, pe baze termodinamice și considerînd presiunea luminii, că radiația totală a unui corp absolut negru trebuie să fie



a

a — de formă cilindrică;



b

b — de formă cilindro-conică.

Fig. 241 — Corp negru:

proporțională cu puterea a patra a temperaturii sale absolute, deci $(\varepsilon_{\lambda T} = \sigma T^4)$, unde σ este o constantă.

Mai târziu, în 1895, Wien și Lummer, construind un corp perfect negru, au putut cerceta experimental deducțiile lui Boltzmann. Cercetările ulterioare au confirmat legea Stefan-Boltzmann și s-a putut determina și constanta σ . După determinări recente, valoarea acestei constante este

$$\sigma = 5,735 \cdot 10^{-16} \text{ W/cm}^2 \text{ grad}^4$$

Legea Stefan-Boltzmann este cunoscută și sub numele de *prima lege a radiației integrale a corpului negru*.

4. LEGEA LUI WIEN

Legea a doua a radiației corpului negru a fost descoperită de W. Wien. Legea Stefan-Boltzmann se referă numai la intensitatea radiației integrale a corpului negru, dar nu tratează despre repartitia spectrală a energiei. În 1893, Wien formulează a doua lege a radiației corpului negru, care dă anumite indicații asupra caracterului funcției universale a lui Kirchhoff. Examinând pe diferite căi, mecanice și termodinamice, radiația închisă într-o incintă de tip special, Wien a ajuns la concluzia că emisia corpului negru posedă un maxim pentru fiecare temperatură. Legea lui Wien are următoarea expresie

$$\lambda_{\max} T = b,$$

unde b este o constantă; valoarea lui b , determinată recent, este: $b = 2,884 \cdot 10^7 \text{ Å grad}$. Sub această formă, legea lui Wien poartă și numele de legea deplasării, deoarece ea arată că, produsul $\lambda_{\max} T$ fiind constant, poziția maximului funcției universale se deplasează spre unde scurte pe măsura creșterii temperaturii absolute.

Din cele expuse reiese că folosirea unui corp incandescent ca sursă de lumină este cu atât mai avantajoasă cu cât acest corp are temperatura mai ridicată, fiindcă o dată cu creșterea temperaturii crește nu numai cantitatea globală de energie emisă în unitatea de timp, ci se mărește de asemenea funcția de energie radiantă care revine spectrului vizibil. Intensitatea în regiunea spectrală de unde mai scurte crește mult mai repede la temperaturi nu prea înalte. Astfel, în jurul temperaturii de incandescență roșie, energia totală a spectrului vizibil crește, la platină, proporțional cu puterea a 30-a a temperaturii și la incandescența albă creșterea este proporțională cu puterea a 14-a. Intensitatea razelor galbene se dublează când temperatura corpului crește de la 1 800 la 1 875°K, adică numai cu 4%.

Dacă am folosi drept sursă radiantă un corp negru, am putea calcula pentru fiecare temperatură, după o formulă a lui Planck, care este partea de energie utilă din punctul de vedere al tehnicii iluminatului și care este debitul de lumină al sursei noastre. Având în vedere că sensibilitatea maximă a ochiului omenesc se află în jurul a 5 500 Å în regiunea galben-verde a spectrului, avantajele cele mai mari ca sursă de lumină le prezintă corpul negru la temperatura de aproximativ 5 200°K. S-a convenit astfel a se numi lumină albă, din punctul de vedere al tehnicii iluminatului, radiația corpului negru la această temperatură. Radiația solară, după ce a suferit absorbție la trecerea prin atmosferă, are în apropiere de sol o temperatură de culoare de aproximativ 5 000°K.

E. ACȚIUNEA BIOLOGICĂ A LUMINII

1. INFLUENȚA RADIAȚIILOR VIZIBILE

Lumina are o acțiune puternică asupra dezvoltării, nutriției și mișcării ființelor vii.

Asimilația clorofiliană, fenomen de bază la plantele verzi, se face la lumină. Plantele descompun bioxidul de carbon din aer, rețin carbonul și elimină oxigenul. Reacția fotochimică prin care se face sinteza glucidelor este tipul reacției care folosește radiațiile luminoase pentru nutriția plantelor.

La animale, lumina are o acțiune însemnată asupra celulelor singelui și asupra plasmei. Lumina mărește mai ales numărul de eritrocite din sânge; în același timp intervine și o sporire a procentului de hemoglobină, a rezistenței globulare și a activității de reducere a hemoglobinei.

Compoziția chimică a plasmei suferă modificări sub influența luminii: se mărește conținutul ei în fosfor și calciu, se micșorează cuprinsul în glucoză și tirozină. De asemenea trebuie menționată puterea reductoare a țesuturilor sub acțiunea luminii, evaluată prin viteza cu care ele decolorează albastrul de metilen.

Asupra pielii, radiațiile luminoase au de asemenea influență. Dacă se expune o parte a corpului la lumină, se produce un eritem cunoscut sub numele de actinodermită. Imediat după iradiere se percepe o senzație de căldură și mâncărime. După o perioadă care variază între 4 și 12 ore apare eritemul, care, în formele ușoare, durează numai câteva zile. Când lumina a fost mai intensă, apar flictene, care evoluează deseori spre o necroză superficială a tegumentelor. Apoi intervine o descuamație prin fișii epiteliale și ulterior o pigmentație a pielii, care poate persista timp de luni de zile, și care este considerată în general ca un proces de apărare a pielii împotriva acțiunii luminii. Actinodermita este produsă de razele cu lungime de undă mai mică. Faptul s-a stabilit experimental încă de la începutul aplicării raționale a metodelor de fototerapie. De aceea insolațiile apar mai ales în regiunile unde lumina este mai bogată în radiații de lungime de undă mică, de exemplu pe munți. Aceste insolații se întâmplă mai ales în cursul ascensiunilor pe zăpadă, din cauza luminii reflectate care și adaugă acțiunea la lumina care vine direct de la soare.

Lumina are o anumită acțiune și asupra ochiului. În acest caz este lezat segmentul anterior al ochiului. La expunerea la lumină puternică se poate produce o conjunctivită, care apare după 12 ore și dispare, în general, după 2—3 zile. Ca și pentru piele, cele mai active radiații sînt cele cu lungime de undă mai mică. Asemenea accidente se observă la muncitorii sudori care nu-și protejează vederea cu masca sau ochelarii colorați prescriși de normele de protecția muncii. Aceste afecțiuni se numesc oftalmii electrice. La fel pot suferi de oftalmii electrice actorii și manipulatorii de scenă din cinematografie, unde iluminarea se face cu lămpi foarte puternice.

Retina este protejată împotriva acțiunii luminii de diferitele medii ale ochiului și mai ales de cristalin, care absoarbe cea mai mare parte a radiațiilor ultraviolete.

Lumina influențează și motilitatea organismelor. Unele microorganisme vegetale, de pildă diferite alge, se deplasează în întregime sub acțiunea luminii. Uneori se observă deplasări ale protoplasmei sau grăunțelor de clorofilă, în interiorul celulelor.

Anumite organe ale plantelor prezintă mișcări caracteristice sub influența luminii. Se cunosc mișcările nictitropice ale senzitivei sau ale mimozei. La floarea-soarelui, tulpina se apleacă și se îndreaptă permanent spre soare.

Mișcări mai frecvente se observă însă în orientarea organelor în curs de creștere. Astfel se observă o aplecare a vârfului plantei spre izvorul de lumină. Fenomenul se numește fototropism. Unele plante își îndreaptă frunzele spre lumină. Fototropismul este însă variabil, uneori fiind și negativ.

În regnul animal, protozoarele, ca și amibe, se deplasează într-un câmp luminos, trecând de la locuri mai întunecate spre cele mai luminate și adeseori invers (fototaxie). Animale mai evoluate, cum sînt actiniile (polipii), fug de lumină. Păianjenii sau fluturii caută locul cel mai luminat.

La unele animale, expunerea la lumină provoacă deplasarea pigmentului. Un caz foarte cunoscut este cel al cameleonului, la care se poate vedea cum pigmentul ajunge la suprafața pielii sau coboară în profunzime după cum animalul este expus la lumină sau se află în întuneric. La fel, unii pești prezintă însușirea de a lua culoarea nisipului pe care se află.

Asupra dezvoltării plantelor și animalelor, lumina are de asemenea o acțiune sensibilă. Astfel, plantele cultivate în întuneric sînt lungi, subțiri și lipsite de clorofilă.

Făcînd o cultură de drojdie de bere în must de bere expus la lumină, drojdia își schimbă forma și chiar proprietățile, putînd trece de la o formă aerobă la una anaerobă. Unele din aceste transformări astfel dobîndite se pot transmite ereditar.

Lumina are o acțiune antibacteriană, ceea ce are o importanță foarte mare în igienă. Expunerea la soare este un mijloc foarte eficace pentru purificarea apelor. Pasteur și Miquel au demonstrat că numărul de microbi în probele de apă de rîu, luate la o anumită distanță de un oraș mare, este mai mic ziua decît noaptea. Această acțiune bacterică este cu atît mai intensă cu cît radiațiile utilizate sînt mai apropiate de limită violetă a spectrului. Ele ating maximul în ultraviolet, așa cum se va vedea la studiul acestor radiații.

În ceea ce privește influența luminii asupra animalelor, în afară de experiențele doveditoare pe animale inferioare, experiențe numeroase au fost făcute mai recent asupra animalelor superioare și îndeosebi asupra mamiferelor. Rezultatele au fost următoarele: animalele bine hrănite, ținute în întuneric, slăbesc și mor, dar nu prezintă malformații ale oaselor și insuficiența calcificării cunoscută sub numele de rahitism. Animalele lipsite de vitamină A sau vitamină D și ținute în întuneric prezintă accidente grave: atrofii și tulburări de calcificare. Aceste accidente nu apar dacă animalele sînt expuse razelor de soare. Există deci o legătură între iradiația luminoasă și dezvoltarea animalelor.

2. FOTOTERAPIA

Utilizarea în medicină a proprietăților biologice și fiziologice ale luminii se cunoaște sub numele de fototerapie.

Se folosește în acest scop, fie lumina naturală, și în acest caz aplicația ia numele de helioterapie, fie lumina artificială, a cărei utilizare terapeutică se numește finzenterapie.

a) **Helioterapia.** În antichitate se cunoșteau expunerile la soare, îndeosebi pe malul mării, în locuri amenajate pe nisip (arenaria); tratamentul se făcea pentru afecțiunile cronice articulare.

În prezent, helioterapia este aplicată în afecțiuni locale, plăgi atone, ulcere varicoase, tuberculoză osoasă, rahitism.

Efectele helioterapiei variază cu regiunea și cu climatul. Radiațiile solare sînt mai intense și mai numeroase în straturile mai înalte ale atmosferei; la nivelul mării, radiațiile solare directe sînt mai puțin bogate în

radiații actinice; în schimb, lumina difuză conține mai multe din aceste raze.

În helioterapie se suprapun în proporții foarte variabile efectele calorice și cele chimico-biologice ale radiațiilor; radiațiile calorice precumpănesc, ceea ce se observă prin ridicarea temperaturii corpului cu mai mult de un grad și prin sudația abundentă consecutivă.

Separarea efectelor calorice de cele chimico-biologice se face aplicându-se separat radiațiile calorice (*razele infraroșii*) și cele chimico-biologice (*razele ultraviolete*); aceasta se poate face numai pe cale artificială, aparatele moderne permițând o aplicare și o dozare de precizie practică satisfăcătoare.

b) **Finzenterapia.** Fototerapia cu ajutorul luminii artificiale a fost introdusă în tratamentul diferitelor afecțiuni de Finzen.

Finzen înlocuiește (1895) lumina solară cu lumina produsă de arcul electric, care dă o lumină apropiată de cea a Soarelui. După Finzen, un aparat de fototerapie trebuie să cuprindă o lampă cu arc electric și un sistem de răcire așezat între lampa cu arc și regiunea tratată (în scopul eliminării razelor calorice). Se suprimă razele solare infraroșii, roșii și galbene, trecând lumina arcului electric printr-un strat de apă colorată cu albastru de metilen sau printr-o soluție de sulfat de cupru amoniacal. Radiațiile astfel răcite și filtrate au culoarea albastră și o pronunțată putere bactericidă. Ele sînt concentrate printr-un sistem de lentile.

Prin această metodă se obține un tratament cu raze albastre, violete și ultraviolete.

Lămpile cu arc folosite în fototerapie au electrozii de cărbune. Radiațiile ultraviolete produse de acești electrozi sînt în cantitate mică. Se întrebuintează uneori și electrozi de grafit, în care sînt încorporați anumiți oxizi metalici și săruri, ai căror vapori incandescenti dau radiații bogate în raze ultraviolete.

Folosirea lămpii cu arc a format unul din procedeele mai importante ale fototerapiei artificiale. În prezent, fototerapia artificială se face cu ajutorul lămpilor electrice cu incandescență.

Tratamentul dă rezultate bune în lupus; s-au constatat vindecări în 80% din formele recente medii sau întinse ale feței și gîtului.

3. RADIATIILE INFRAROȘII

Razele infraroșii sînt cunoscute de mult. În 1800, Herschell, studiind spectrul solar produs de o prismă, observă, în regiunile invizibile care continuă spectrul luminii albe dincolo de roșu, că un termometru sensibil arată o ridicare de temperatură, cu maxime și minime, după regiunea explorată.

În 1853, Ampère arată identitatea razelor infraroșii cu razele calorice. Ca și lumina vizibilă, radiațiile infraroșii se propagă în linie dreaptă, urmează legile reflecției, refracției, interferenței, polarizării, polarizării rotatorii magnetice. Singura diferență dintre radiațiile vizibile (care de altfel sînt și ele calorice) și cele infraroșii este lungimea de undă.

De atunci și pînă azi, numeroși cercetători au explorat și studiat regiunea numită infraroșu, studiind natura și efectul radiațiilor respective care produc efecte calorice. Astăzi este stabilit că radiația infraroșie deși numită în general radiație calorică, are și alte caracteristici și efecte.

Am arătat că domeniul radiațiilor infraroșii începe imediat după radiațiile vizibile, în scara radiațiilor electromagnetice. Limita luminii albe nu este însă bine definită: sînt oameni și animale care pot vedea o parte mai mare sau mai mică din spectrul infraroșu.

După numeroase experiențe s-a stabilit că limita dintre lumina vizibilă roșie și regiunea infraroșie este de 7 600 Å. De la 7 600 Å în sus, infraroșul acoperă o zonă care se întinde, convențional, până la 343 μ, făcând acolo joncțiunea cu undele herțiene.

Levițki și Glagoleva-Arkadeva au găsit însă unde herțiene mai scurte decât radiațiile infraroșii: cele două domenii întrepătrundându-se, se numesc de obicei radiații infraroșii, cele produse de izvoare calorice, iar unde herțiene, cele obținute prin oscilații electrice.

Regiunea infraroșie astfel delimitată acoperă un spațiu foarte vast din scara radiațiilor, de 10 ori mai întins decât domeniul vizibil și de două ori mai mare decât cel ultraviolet.

a) **Producerea razelor infraroșii.** Razele infraroșii sînt produse în general de corpurile calde. Orice corp cald dă un spectru de emisiune. Acest spectru poate fi continuu, cum este în cazul corpului absolut negru sau al metalelor încălzite (încălzitor electric, lampă electrică incandescentă), și poate fi discontinuu, cum este cazul emisiunii vaporilor metalici în arcul electric sau în flacăra gazelor incandescente, a tuburilor cu descărcare în gaze etc.

Un izvor complet de radiații infraroșii este Soarele.

Tipul de lampă emițătoare de raze infraroșii cu spectru discontinuu de gaze incandescente este lampa cu arc, care folosește electrozi de cărbune cu miez metalic sau electrozi metalici. Aceste lămpi nu sînt însă practice, așa că nu sînt prea mult întrebuintate. Ele dau o emisiune maximă între 8 000 și 12 000 Å cu electrozi de cărbune și pînă la 15 000 Å cu electrozi de fier.

Lampa cu vaporii de mercur este utilizată pentru producerea razelor ultraviolete, dar ea transformă în raze infraroșii o mare parte din energia electrică pe care o consumă. În afară de radiațiile ultraviolete, lampa cu vaporii de mercur dă raze vizibile și raze în spectrul invizibil infraroșu de $\lambda = 7\,730, 9\,260, 10\,140, 10\,200, 13\,000$ Å, apoi de 4 și 4,5 μ.

Lampa cu vaporii de mercur produce procentual mai multă radiație infraroșie decât arcul electric și ar putea fi utilizată și ca izvor de raze infraroșii.

Tuburile cu descărcare în gaze rarefiate dau un spectru discontinuu, ale cărui linii infraroșii pot fi folosite ca izvor de infraroșu. Tubul cu neon a fost preconizat ca radiator de infraroșu; el dă numeroase linii aproape de spectrul vizibil.

Gazele incandescente, lampa Auer, lampa Nernst și altele pot fi de asemenea folosite pentru a da raze infraroșii.

Un izvor cu emisiune continuă este corpul negru. Intensitatea radiației corpului negru urmează, după cum am văzut, legea lui Stefan-Boltzmann, potrivit căreia energia totală radiată pe secundă de un corp negru este proporțională cu puterea a patra a temperaturii absolute.

$$\epsilon_{\lambda T} = \sigma T^4, \text{ unde } \sigma = 5,735 \cdot 10^{-16} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{grad}^4$$

În practică, pentru a se obține o emisiune infraroșie continuă se folosesc rezistențele electrice, precum și lămpi electrice cu incandescență construite astfel încît să dea o emisiune infraroșie bogată.

După legea lui Kirchhoff, substanțele care nu prezintă maxime de reflecție sau de absorbție în infraroșu emit un spectru continuu. În această categorie de substanțe, numite și *corpuri cenușii*, sînt cuprinse metalele și unii metaloizi (cărbunele). Emisiunea rezistențelor de încălzire și cea a diferitelor lămpi cu incandescență este cuprinsă în emisiunea corpurilor cenușii. Formulele de radiație ale corpurilor cenușii sînt analoge celor ale corpului negru, însă coeficientul este diferit.

b) **Însușirile razelor infraroșii.** Este firesc ca, într-o zonă atât de întinsă, razele să aibă caracteristici diferite din punctul de vedere fiziologic, al puterii de pătrundere, al aplicațiilor practice etc.

Trebuie menționat că razele infraroșii nu au proprietăți calorice speciale. La fel cu radiațiile vizibile și cu cele ultraviolete, razele infraroșii pot fi absorbite de ecrane sau corpuri interpușe și să se transforme în căldură prin transformări energetice.

Razele infraroșii care traversează un ecran perfect transparent pentru ele nu-l încălzesc. Aspectul termic al radiației infraroșii este mai accentuat decât la razele luminoase și la cele ultraviolete, fiindcă ele se pot produce mai ușor în cantitate apreciabilă.

Razele infraroșii se reflectă. Metalele lucioase reflectă 90% din razele incidente infraroșii, în timp ce, din razele ultraviolete, numai 30—40% sunt reflectate.

Refracția razelor infraroșii se face ca pentru razele de lumină vizibilă, și anume folosind lentile de sticlă pentru lungimi de undă mai mici de 3μ , lentile de sare gemă pentru lungimi de undă cuprinse între 3 și 20μ și de cuarț pînă la 300μ . Interferența se produce la razele infraroșii ca la radiații vizibile.

Limita dintre radiațiile infraroșii și spectrul vizibil are un caracter fiziologic, și anume se află acolo unde lumina încetează de a fi vizibilă. Această delimitare este subiectivă. Cei care suferă de daltonism nu văd roșul de loc; în general, cu vîrsta și condițiile de sănătate, o parte din roșu devine invizibil.

Unii oameni văd pînă la $\lambda = 0,8\mu$, în timp ce alții nu văd decât pînă la $\lambda = 0,7\mu$.

Spectrul infraroșu este foarte complicat. Din el au fost studiate 9 grupe de radiații, de la $0,75$ la 400μ . Prin asemănare cu sunetele, aceste grupe se numesc octave. Proprietățile diferitelor grupe se pot clasifica din punctul de vedere al utilizării medicale astfel: infraroșul terapeutic se întinde de la limitele spectrului vizibil pînă dincolo de 6μ pe trei octave, din care numai cele de sub $1,5\mu$ pot fi socotite ca radiații penetrante (se obțin cu lămpi cu filament de tungsten sau de la Soare); cele de la $1,5$ la 3μ , mai puțin penetrante, se obțin cu lămpi cu filament de cărbune, și cele de la 3 la 6μ sînt raze slab penetrante, care se obțin cu rezistențe electrice aduse la incandescență.

Celelalte trei octave care urmează prezintă de asemenea interes biologic; ele cuprind radiațiile emise de corpul omenesc, de organisme, de sol și de obiectele ce ne înconjură; pentru aceste radiații sîntem imuniizați printr-o adaptare îndelungată. Proprietățile ultimelor trei octave, susceptibile de a fi și ele aplicate în medicină, nu sînt încă studiate mai de aproape.

c) **Detectarea razelor infraroșii.** Pentru a detecta radiațiile infraroșii se întrebuintează metode fotografice care folosesc plăci sensibilizate pentru aceste radiații; de asemenea este utilizat efectul fotoelectric, termoelectric etc.

Aparatele cele mai potrivite pentru cercetările biologice și medicale, precum și pentru dozarea razelor în terapie, sînt actinometrele medicale, constituite de obicei din elemente termoelectrice simple sau grupate în baterii. Se mai întrebuintează anumiți indicatori care-și schimbă culoarea sub acțiunea căldurii. Fără a fi deosebit de preciși, acești indicatori termici atrag totuși atenția asupra atingerii unei anumite temperaturi. Astfel, iodura dublă de mercur și de argint este o substanță galbenă care virează în roșu la 45°C .

Trebuie amintit aici că energia medie pe care o poate suporta pielea în infraroșu este de 1 — 2 calorii pe minut și cm^2 .

d) Radiatoare medicale de raze infraroșii. În medicină, aparatele producătoare de raze infraroșii sînt utilizate pe scară largă. Aparatele medicale generatoare de raze infraroșii au fost primele izvoare bine individualizate de acest gen, și au apărut imediat după radiatoarele electrice și lămpile cu incandescență.

În cursul dezvoltării metodelor și aparatelor pentru producerea de raze infraroșii au fost folosite și niște vergele încălzite și așezate paralel, însoțite de un reflector; încălzite pe la 1 100°, ele dau o emisiune cu lungime de undă maximă de 2μ , care prezintă un interes deosebit; asemenea aparate dau în proporție însemnată și radiații pentru care pielea și unele organe sînt permeabile.

S-au construit de asemenea lămpi cu arc cu electrozi polimetaliți speciali, precum și lămpi cu descărcări în gaze, tuburi cu neon etc. Toate aceste dispozitive au fost înlocuite de lampa electrică cu incandescență, care permite obținerea mai sigură și mai ușoară a radiațiilor infraroșii selecționate.

Dintre aparatele care produc radiații infraroșii, cele mai folosite în prezent sînt rezistențele electrice și lămpile electrice cu incandescență.

Radiatorul cu rezistență are o temperatură inferioară celorlalte. Un astfel de radiator este alcătuit dintr-un fir metalic neizolat, înfășurat pe un suport de ceramică, steatită sau alte materiale refractare și electroizolante. Un reflector de metal de formă parabolică limitează fasciculul și concentrează razele asupra bolnavului. Aceste fire, în general făcute dintr-un metal sau aliaj inoxidabil la temperatura corespunzătoare (nichel, crom, sau aliaj: constantan, crom-nichel, fero-nichel, cupru-mangan), de rezistivitate mare, capătă după legea Joule-Lenz o temperatură ridicată cînd sînt străbătute de curentul electric.

În general, radiatorul cu rezistență este utilizat pentru iradiieri locale, cîmpul de iradiație nedepășind diametrul de 60 cm.

Lampa cu filament de cărbune folosită ca radiator de infraroșii este montată într-un reflector parabolic fixat pe o tijă elastică.

În general, lămpile pentru radiații infraroșii sînt așezate în reflectoare sferice sau sferico-cilindrice nichelate. Ele sînt uneori așezate în manșoane la capătul cărora se pot fixa filtre.

Izvoarele de infraroșii sînt adesea grupate într-o cutie mai mare, pentru a permite o baie locală pentru diferitele articulații: spate, cot, mină. Pentru baia generală, bolnavul este întins pe un pat de tip special, iradiația făcîndu-se cu 4 — 48 de lămpi de 60 — 100 W.

În aparatele medicale se intercalează în circuitul de alimentare a lămpilor un reostat care permite să se obțină temperaturile și lungimile de undă din tabelul 35.

Tabelul 35

	120	110	100	90	80	70 volți
Temperaturi absolute	2 000	1 920	1 830	1 730	1 625	1 510°K
λ maxim	1,44	1,53	1,57	1,67	1,77	1,91 μ

Lampa cu filament de wolfram, avînd filamentul adus la o temperatură mai ridicată decît aceea a filamentului de cărbune, are o emisiune mult

mai puternică decât a lămpii cu fir de cărbune. De aceea, cu o singură lampă cu filament de wolfram de 1 500 sau 2 000 wați se poate face iradiația care s-ar obține cu 30 sau 40 de lămpi cu fir de cărbune; în același timp se obține un randament mai bun în profunzime și o mai bună utilizare a anumitor filtre. Lampa cu filament de wolfram trebuie deci considerată ca un radiator abundent de radiații infraroșii din prima octavă, dar mai săracă în restul spectrului infraroșu.

Lămpile cu arc electric sînt de asemenea izvoare bogate în radiații infraroșii. Din cauza temperaturii ridicate, lungimile de undă sînt deplasate mai mult spre undele mici. Prin adăugarea de zirconiu în electrozii de cărbune, s-a obținut o emisiune de 90% din energie sub formă de radiații infraroșii. Acest fel de radiator nu este folosit direct pentru infraroșu, ci pentru a emite radiații ultraviolete însoțite de radiații infraroșii.

În ce privește locul radiațiilor produse de fiecare din radiatoarele descrise, în gama de radiații, trebuie arătat că radiatoarele cu rezistență electrică, de temperatură joasă, dau radiații din octava a doua și a treia a razelor infraroșii, care am văzut că nu sînt radiații penetrante.

Lămpile cu filament de cărbune sînt izvoare al căror randament optim se află în octava a doua, dar au putere de pătrundere mică; din cauza filtrelor, ele se numesc și lămpi roșii.

Lampa cu arc prezintă interes pentru partea inițială a infraroșului care are o mare putere de penetrație. Pentru a suprima însă eritemul datorit razelor ultraviolete care însoțesc pe cele infraroșii, se înzestrează aparatul cu un filtru de sticlă de seleniu.

Din cele arătate reiese că diferitele radiatoare de infraroșu nu pot fi utilizate unul în locul celuilalt, fiindcă ele prezintă emisiunea maximă în regiuni diferite ale spectrului și distribuția energiei lor în octavele utilizate în terapeutică este diferită.

Totuși, lampa cu filament de wolfram, care dă o intensitate bună în prima octavă penetrantă și un radiator cu rezistență care dă celelalte părți ale spectrului, se pot asocia cu folos în terapeutică.

Efectele biologice se manifestă la plante și animale asupra celulei. Aplicarea razelor infraroșii în terapeutică folosește acest efect, care dă rezultate bune în diferite afecțiuni.

Efectele razelor infraroșii asupra celulei au fost studiate în biologie și în fiziologie. Pare stabilit că o iradiație moderată cu radiații infraroșii cu lungimi de undă scurtă, pentru care celula este permeabilă, întărește activitatea acesteia. Numai pentru raze infraroșii cu lungimi de undă mai mari de $1,5 \mu$ puternic absorbite sau pentru o puternică iradiere a celulei are loc o distrugere a acesteia. Acest fapt poate fi ușor verificat și pus în evidență prin iradierii asupra drojdiei de bere.

Bacteriile sensibilizate cu coloranți care absorb radiațiile infraroșii sînt distruse ușor de aceste radiații.

În fiziologia umană, razele infraroșii cu lungimi mai mici de undă care ne vin de la Soare prin atmosferă au o importanță deosebită.

Efectul razelor infraroșii se manifestă indirect prin modificarea gradientului termic al pielii: la suprafață, în cazul razelor relativ lungi, absorbite la suprafață de la rezistențele de încălzire, ori în adîncime (radiații de $0,76 - 1,5 \mu$, penetrante) de la lămpile cu incandescență și lămpile cu arc. Pielea este transparentă la infraroșu pînă la $1,5 \mu$, apoi devine relativ opacă, cu un spectru de absorbție destul de complex.

Protoplasma prezintă zone de transparentă alternînd cu zone de absorbție. Apa din piele și din celelalte țesuturi are de asemenea un rol important

în acest proces. În fine, melanina și hemoglobina au un maxim de absorbție în galben și sînt transparente în roșu și infraroșu cu lungimi de undă mai mici, maximul de permeabilitate fiind către 1,2 μ .

Față de radiațiile infraroșii, pielea constituie un complex: epidermul (a cărui permeabilitate poate varia cu starea de uscăciune), pigmentii, țesutul celular etc. Din cauză că este foarte hidrofilă și bogat vascularizată, pielea constituie un ecran fiziologic a cărui permeabilitate este variabilă cu lungimea de undă a iradiației, cu grosimea pielii și cu condițiile de umiditate în care se lucrează.

Pentru lungimi de undă mai mari de 5 μ , pielea poate fi considerată cu totul opacă pentru razele infraroșii.

În legătură cu permeabilitatea pielii pentru razele infraroșii, se folosește clasificarea următoare în terapeutică;

a) razele infraroșii cu lungimi de undă mai mari de 5 μ sînt absorbite la suprafață;

b) razele infraroșii cu lungimi de undă cuprinse între 1,5 și 5 μ sînt absorbite de epiderm și derm;

c) razele cu lungimi de undă între 0,76 și 1,5 μ sînt penetrante. În acest din urmă caz trebuie arătat că penetrația este în funcție de pigmentație, de gradul de îmbibiție, de temperatură.

Pentru a acționa asupra pielii (celule, mucoase, sisteme vasculare) se folosesc deci razele infraroșii cu lungime de undă mare. Dacă vrem să acționăm în profunzime, de exemplu asupra sistemului lacunar, vom utiliza razele cuprinse între 0,76 și 1,5 μ .

În țesuturi, energia radiantă se transformă în căldură. Cu ajutorul unui termometru termoelectric sau al unor ace termoelectrice se poate cerceta temperatura diferitelor regiuni de suprafață și din profunzime ale corpului subiectului expus la raze infraroșii.

Diferitele cercetări făcute în ultimele decenii au arătat efectul radiației infraroșii asupra țesuturilor iradiate. Iradierea are drept consecință o ridicare de temperatură care variază cu lungimea de undă.

O radiație de intensitate suportabilă în lumina vizibilă poate să se manifeste printr-o impresie dureroasă în infraroșu de lungime de undă mare, din cauza încălzirii superficiale a țesuturilor. Toleranța la temperatura cutanată, care este de 43,8° în infraroșu de lungime de undă mică, crește pînă la 45,5° la raze infraroșii lungi, ceea ce indică o acțiune deosebită a acestor două feluri de radiații.

Radiațiile infraroșii au, pe de altă parte, efect asupra circulației în derm: vasodilatație sub papilă, intensificare a schimbului dintre celule prin amplificarea fenomenelor osmotice și creșterea debitului sanguin. Aceasta provoacă un edem papilar, care contribuie la protejarea epidermului de acțiunea razelor infraroșii.

Razele infraroșii stimulează activitatea nervoasă a pielii; ele fac pielea mai sensibilă la excitarea externă și internă, dar pot acționa în același timp și asupra durerilor, calmîndu-le, fie prin acțiunea inhibitoare directă asupra nervilor afectați, fie acționînd asupra sistemului circulator.

Pe de altă parte, energia radiantă poate modifica — prin acțiune superficială asupra dermului și țesutului celular subcutanat, pe căile sistemului nervos — activitatea organelor profunde în relație cu regiunea superficială tratată.

Razele infraroșii, căzînd pe piele, chiar dacă nu provoacă edemul de autoapărare, activează glandele sudoripare.

Formarea pigmentului și regenerarea celulelor epidermice atinse sînt accelerate de o iradiere moderată cu raze infraroșii.

Razele penetrante pot atinge straturi mai profunde, iar cele care nu sînt absorbite de celulele epidermului și rețeaua sanguină acționează asupra sistemului lacunar. Prin intermediul reacțiilor sanguine și al sistemului nervos, aceste radiații acționează asupra secrețiilor glandulare și asupra metabolismului general.

În ce privește mecanismul acțiunii razelor infraroșii, se crede că ridicarea de temperatură, care este bine suportată de cea mai mare parte a organelor, permite amplificarea reacțiilor de apărare generală a organismului.

e) **Aplicații medicale.** Multe din caracteristicile fiziologice ale radiațiilor infraroșii examinate mai înainte sînt folosite în terapeutică, în tratamentul cu raze infraroșii.

De altfel, radiațiile infraroșii au fost folosite empiric în terapeutică din toate timpurile. Medicii din antichitate și cei din evul mediu foloseau sobe, fiare de călcat și cataplasme pentru degerături, ulceratii, antrax, ganglioni tuberculoși, contuzii, echimoze. Hippocrat semnalează aplicații de căldură în tratamentul plăgilor, ulcerelor și leziunilor provocate de frig.

În general, radiațiile infraroșii sînt utilizate cu succes în afecțiunile sistemului lacunar, dureri articulare, toracice, abdominale, plăgi ale pielii etc. Aceste radiații accelerează oxidările și măresc efectul lor în metabolismul general, stimulează funcționarea glandelor endocrine și au efect favorabil în tulburările de nutriție; durerile postoperatorii sînt mai ușor suportate și regenerarea celulelor este mai rapidă și mai ușoară.

Excesul de expunere la raze infraroșii poate duce la eritem simplu sau chiar la arsuri. În întreprinderile metalurgice, expunerea mai îndelungată cu fața neprotejată, la radiațiile pieselor incandescente, produce tumori. Ședințe prelungite de raze infraroșii pot determina o stare de astenie. Hipertensiunea și anumite afecțiuni ale inimii constituie o contraindicație pentru întrebuințarea generală a acestor radiații, dar tratamentul local rămîne posibil.

Radiațiile infraroșii produc leziuni oculare. Asupra ochiului acționează razele de $0,76-1,5 \mu$. Acțiunea lor puternică și prelungită poate da accidente grave, fiindcă nu se manifestă prin căldura sensibilă a agentului caloric: nefiind interpus un ecran, radiațiile acționează liber.

Se produc astfel fotofobii, opacificări progresive ale cristalinului, paralizie a irisului, dezlipire a retinei, cataracte. Aceste accidente au fost observate la muncitorii care lucrează cu sudură autogenă, în turnătorii, topitorii de metale, sticlării, ceramică. La sudorii cu arc electric, primejdia este mai mică, din cauza ochelarilor pe care trebuie să-i poarte pentru a se apăra de razele ultraviolete și care-i apără și de cele infraroșii.

O protecție generală se realizează cu ajutorul unor ecrane opace, portabile sau fixe, cele mai bune fiind chiar ușile cuptoarelor, care nu trebuie să stea deschise fără a fi nevoie. De asemenea sînt recomandați ochelari împotriva radiațiilor calorice.

Aplicații generale. În industria de medicamente, alimente, tăbăcărie, industria chimică, a lemnului etc., în laboratoarele moderne de cercetare și de analiză, se utilizează razele infraroșii la încălzire și la uscarea. Ele sînt produse cu ajutorul lămpilor speciale cu incandescență, așezate în etuve de formă adaptată fiecărei utilizări. Încălzirea prin raze infraroșii prezintă avantajul că este lină și se poate regla ușor după nevoie.

4. RADIAȚIILE ULTRAVIOLETE

Studiul spectrografic al razelor ultraviolete prezintă o serie de dificultăți din cauza aparatelor speciale care trebuie întrebuințate: radiațiile ultraviolete fiind absorbite în mare parte de sticlă, în spectroscopul pentru raze ultraviolete nu pot fi întrebuințate prisme de sticlă și, în general, sisteme optice de sticlă ca în spectroscopul pentru lumina vizibilă sau pentru radiațiile infraroșii. De aceea se întrebuințează cuarțul, care este mult mai transparent pentru razele ultraviolete decât sticla.

Un spectrograf alcătuit dintr-o prismă de cuarț, fără lentile, poate da pe film fotografia unui spectru care se întinde de la 6 700 la 2 200 Å, pe o lungime de peste 20 cm.

Determinările spectrografice au dat rezultate importante, dintre care multe sînt folosite în medicină, la aplicarea radiațiilor ultraviolete în terapie și la folosirea lor ca instrument de cercetare.

a) **Clasificare.** Limitele radiațiilor ultraviolete sînt cuprinse între violetul extrem, cu lungimea de undă de circa 3 900 Å și radiația de 144 Å, unde ultravioletul se suprapune peste razele Röntgen de lungime de undă maximă.

Limita inferioară variază cu fiecare sursă. Astfel, lămpile electrice cu filament metalic au radiații peste 3 200 Å, soarele de altitudine peste 2 900 Å, flacăra de magneziu 2 800 Å, arcul electric între electrozi de cărbune 2 500 Å, lampa de cuarț cu vapori de mercur 1 942 Å, gazele luminiscente 1 030 Å. Millikan a obținut în vid, cu ajutorul unor rețele speciale și al unor scînteii de înaltă tensiune, o regiune de radiații ultraviolete care se întinde între 510 și 144 Å.

După recomandările Congresului din Copenhaga (1932), radiațiile ultraviolete sînt împărțite în trei regiuni spectrale: 1) ultravioletul A, de lungime mare de undă, care se întinde aproximativ de la 4 000 la 3 150 Å; această regiune este produsă de Soare, arcul electric și lămpile electrice cu incandescență. Ea nu are asupra pielii aproape nici o acțiune; 2) ultravioletul B, de lungime de undă mijlocie, se întinde între 3 150 și 2 800 Å. Este dat îndeosebi de lămpile cu vapori de mercur și de arcul electric între cărbuni metalizați. Are acțiune puternică asupra pielii, producînd un eritem urmat de pigmentație; 3) ultravioletul C, de lungime mică de undă, numit și abiotic, se întinde sub 2 800 Å. Se obține în abundență cu lămpile cu vapori de mercur.

b) **Proprietăți fizice.** Razele ultraviolete prezintă o serie de proprietăți termice, optice, fotoelectrice etc.

Razele ultraviolete căzînd pe un corp absorbant, o parte mică a radiației este transformată în căldură, care poate fi pusă în evidență cu ajutorul unui termoelement.

Radiațiile ultraviolete excită substanțele fluorescente și provoacă astfel fluorescența diferitelor substanțe, așa cum se va arăta pe larg la studiul fenomenului de fluorescență și al aplicațiilor în cercetare, iluminat etc.

Razele ultraviolete descarcă corpurile electrizate, prin faptul că ionizează aerul. Dacă se proiectează un fascicul de raze ultraviolete asupra unei plăci metalice încărcate negativ, într-un circuit, aceasta se descarcă prin faptul că fotonii dau energia necesară (numită lucru de ieșire) pentru eliberarea electronilor din straturile superficiale, care închid astfel circuitul. Stoletov, în experiențele care au dus la descoperirea fenomenului fotoelectric, a folosit o lumină bogată în raze ultraviolete pentru a smulge electronii din catodul de zinc al aparatului cu care a experimentat (condensatorul lui

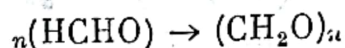
Stoletov). Fenomenul se produce și cu radiațiile vizibile și cu cele infraroșii, însă radiațiile cu lungime de undă mai mică, deci cu energie mai mare, dau o viteză mai mare electronilor smulși și pot scoate electronii din substanțe din care radiațiile cu λ mai mare nu o pot face.

c) **Proprietățile fotochimice ale razelor ultraviolete.** Reacțiile fotochimice provocate de razele ultraviolete sînt de mai multe categorii:

Reacții de oxidare se observă la nitrificare, adică la transformarea compușilor amoniacali în compuși azotați; la punerea iodului în libertate prin oxidarea iodurii de potasiu; la transformarea acetonei în acid acetic; la punerea în libertate a clorului din tetraclorura de carbon etc.

Reacțiile de reducere sînt cunoscute mai de mult: sărurile de argint sînt reduse; de aceea, placa fotografică este mijlocul cel mai bun pentru descoperirea razelor ultraviolete. Cum însă gelatina de pe plăcile fotografice absoarbe radiațiile ultraviolete de lungime de undă mai scurtă, pentru lucrări spectroscopice în ultraviolet se folosesc plăci fotografice care cuprind sărurile de argint emulsionate într-o cantitate cît mai mică de gelatină.

Dintre reacțiile de polimerizare amintim transformarea aldehidei formice, prin acțiunea razelor ultraviolete, în glucide: monozaharide, zahăr, amidon, celuloză, pectină, după schema următoare.



Această reacție a putut fi obținută și *in vitro*, așa cum se realizează în natură, în plante, în decursul procesului de asimilație clorofiliană.

Reacții de fotoliză, inverse celor de sinteză, se produc de asemenea sub acțiunea razelor ultraviolete. Astfel, zaharurile se dedublează, au loc diferite fenomene similare celor obținute cu ajutorul diastazelor etc.

Reacții biochimice. În această categorie de proprietăți ale razelor ultraviolete se grupează transformarea prin iradiere cu ultraviolete a oxihemoglobinei din sînge în methemoglobină, alterarea soluției apoase de nicotină, care devine astfel mai puțin toxică, activarea ergosterolului prin radiațiile cuprinse între 2 800 și 3 100 Å pentru a da vitamina D.

Dintre proprietățile fizico-chimice în legătură cu aplicarea metodelor terapeutice sînt interesante cele propuse pentru dozarea razelor ultraviolete.

d) **Dozarea razelor ultraviolete.** Metodele de dozare a radiațiilor ultraviolete reies din însușirile fizice, chimice și biologice ale acestor radiații. Vom examina cîteva din procedeele folosite în dozare.

1. În procedeul spectrometric se folosește placa fotografică pentru fotografierea spectrului; se măsoară ulterior opacitatea diferitelor zone, comparîndu-le cu un spectru etalon. Această opacitate diferențială a plăcii pe care a fost fotografiat spectrul se analizează cu ajutorul unei celule fotoelectrice. Deși foarte precis, acest procedeu, ca și numeroase altele, bazate pe analiza spectrală, nu poate fi folosit cu ușurință în practica medicală; ele sînt utilizate numai în cercetări științifice.

2. Procedeul termoelectric folosește un termoelement pe care este primit fasciculul de raze studiate. Primind radiațiile pe sudura unui cuplu termoelectric, se obține la capetele libere ale cuplului o diferență de potențial proporțională cu energia termică în care s-a transformat energia radiațiilor ultraviolete incidente. Procedeul nu este însă selectiv, deoarece curentul produs măsoară toată intensitatea energetică a fasciculului luminos: el dă, în milicalorii, valoarea energetică a fasciculului. Dacă în acest fascicul există și radiații infraroșii și ultraviolete, termoelementul nu arată repartiția energetică pentru fiecare din aceste două radiații.

3. În procedeul fotoelectric este utilizată celula fotoelectrică; aceasta furnizează un curent proporțional cu intensitatea luminoasă primită. Pe de altă parte, celulele fotoelectrice au caracter spectral selectiv, după metalul din care este alcătuită pătura catodică, fiecare din metalele folosite avind un maximum de sensibilitate pentru anumite lungimi de undă, așa cum se va arăta la studiul celulei fotoelectrice. Măsurătorile fotoelectrice se pot face cu celula cu cadmiu sau cu potasiu.

În procedeul cu celula fotoelectrică cu potasiu, măsurarea cantitativă a radiațiilor ultraviolete se poate efectua utilizând o celulă care are pereții dintr-o substanță opacă la razele ultraviolete (sticlă de plumb), dar transparentă la lumina vizibilă. Peretele exterior al ferestrei celulei fotoelectrice

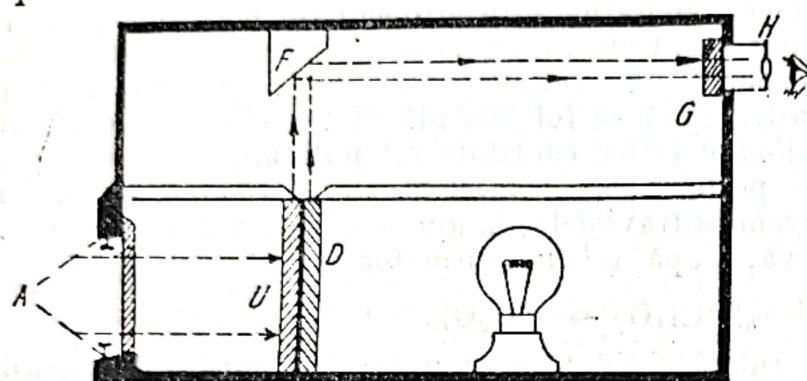


Fig. 242 — Aparat pentru măsurarea fluoroscopică a razelor ultraviolete.

se acoperă cu un strat de substanță fluorescentă, de exemplu cu un amestec de salicilat de sodiu și dextrină. Razele ultraviolete, căzând pe această substanță, o fac fluorescentă, și lumina vizibilă astfel emisă prin excitare de către razele ultraviolete produce efectul fotoelectric în celulă, fără nici o

influență directă a razelor ultraviolete utilizate.

Lumina fluorescentă a uneia și aceleiași substanțe fiind totdeauna identică cu ea însăși și independentă de lungimea de undă care o produce, iar intensitatea ei fiind proporțională cu cea a luminii excitatoare, curentul fotoelectric produs de fotocelula cu potasiu este proporțional cu fluxul ultraviolet incident.

4. Procedeul fluoroscopic se bazează pe același fenomen de fluorescență, folosind însă însușirea ochiului de a aprecia, în condiții favorabile, cu o precizie suficientă, variații de fluorescență. Un aparat care folosește acest principiu este descris schematic în cele ce urmează. O cutie bine închisă, în care nu poate pătrunde lumina, este împărțită în două compartimente suprapuse, cel inferior fiind la rândul său împărțit în două printr-un ecran opac, cuprins între o placă fluorescentă U , de sticlă de uraniu, și o placă de sticlă translucidă, opalescentă D . Sticla fluorescentă primește printr-o fantă de mărime variabilă razele ultraviolete. Secțiunea strălucitoare a sticlei de uraniu se reflectă în oglinda plană F (fig. 242) care trimite imaginea la ocularul H după ce a trecut printr-un ecran galben-verzui. Sticla translucidă așezată de partea cealaltă a peretelui opac este luminată de o lampă al cărei debit poate fi măsurat, în timp ce cu ajutorul unui reostat se variază strălucirea. Imaginea secțiunii plăcii opalescente D în oglinda F se formează în ocular alături de imaginea sticlei fluorescente. Se reglează curentul de alimentare a lămpii astfel ca să se obțină o strălucire identică în ocularul aparatului pentru ambele imagini, ceea ce se poate aprecia practic cu suficientă precizie.

5. Unul din procedeele fotochimice utilizate în dozimetrie constă în schimbarea culorii unor reactivi sub influența radiațiilor ultraviolete; schimbarea culorii se apreciază prin compararea cu o scară de culori etalonată. Un alt procedeu constă în a produce reacții care sînt studiate prin dozaje chimice sau colorimetrice. Uneori se folosește înnegrirea hîrtiei fotografice.

Se întrebuițează pentru dozare actinometrul lui Saidman, bazat pe virarea în cenușiu a hîrtiei impregnate cu o soluție de parafenilendiamină, căreia i s-a adăugat o substanță reductoare. Această schimbare de culoare este produsă numai de radiațiile cuprinse între 2 500 și 3 100 Å, și este evaluată prin compararea cu două culori etalon fixate pe actinometru și reprezentînd: una energia susceptibilă de a produce un eritem ușor, iar cealaltă un eritem de gradul al doilea. Această metodă este uneori întrebuițată în dozimetria terapeutică.

6. În terapeutică este utilizată metoda determinării timpului capabil de a provoca eritemul; aceasta se deosebește de celelalte, fiind o metodă biologică, și permite determinarea simplă, cu ajutorul actinometrului, a dozei cutanate de raze ultraviolete.

e) **Absorbția radiațiilor ultraviolete.** În ce privește absorbția radiațiilor ultraviolete, trebuie considerate două feluri de corpuri: cele din care se construiesc lămpile de raze ultraviolete și cele care urmează a fi iradiate.

Sticla ordinară este transparentă numai pentru radiațiile ultraviolete A. Se folosește în tehnica aparatelor de raze ultraviolete o sticlă specială (uvio), care lasă să treacă radiațiile de lungime de undă mai mică (adică B și din banda C, pînă la 2 600 Å).

Substanța cea mai transparentă pentru radiațiile de lungime mică de undă este cuarțul, care în grosime de cîtiva cm lasă să treacă radiațiile cu lungime de undă mai mică, pînă la 1 800 Å, iar în grosime de sub 0,2 mm este transparent chiar pentru radiațiile ultraviolete de 1 450 Å.

Dintre numeroasele substanțe care au o transparență mai mică sau mai mare pentru razele ultraviolete, este folosită în cercetări sticla Wood cu oxid de nichel, care lasă să treacă numai o singură bandă de radiații ultraviolete, și anume cea cuprinsă între 3 800 și 3 300 Å. Din sticla Wood se fac filtre prin care se pot obține numai razele ultraviolete din banda arătată, ce se pot întrebuița în cercetarea fluorescenței în ultraviolet.

Fluorina în lame de 2 mm grosime este străbătută de razele ultraviolete pînă la $\lambda = 1\,250\text{ Å}$. Cristalele de sare de bucătărie sînt de asemenea transparente pentru razele ultraviolete pînă la lungimea de undă de 1 750 Å.

Apa curată, în straturi subțiri, lasă să treacă razele ultraviolete pînă la 2 000 Å, iar în straturi mai groase de 60 cm, lasă să treacă numai ultravioletul A și B.

În ce privește aerul, straturile mai subțiri permit trecerea tuturor radiațiilor ultraviolete pînă la 1 300 Å.

Sub acțiunea radiațiilor de lungime mică de undă, oxigenul din aer se transformă în ozon (fenomen constatat la orice funcționare a lămpii de raze ultraviolete, cînd se simte mirosul caracteristic al ozonului). Ozonul se comportă ca un ecran opac pentru radiațiile de lungime de undă inferioară celor cu $\lambda = 2\,900\text{ Å}$. Amoniacul existent în atmosferă oprește de asemenea trecerea razelor ultraviolete. Această mare putere de absorbție a gazelor din atmosferă care filtrează radiațiile a făcut să se admită că din spectrul luminii solare ajung pe pămînt numai radiații cu $\lambda > 2\,900\text{ Å}$.

Mediile biologice sînt în general absorbante; substanțele albuminoide prezintă o bandă de absorbție către 2 750 Å și absorb toate radiațiile sub 2 320 Å. În general, lichidele care conțin substanțe coloidale organice sînt opace pentru razele ultraviolete. Gelatina împiedică, așa cum am arătat, folosirea plăcilor fotografice obișnuite pentru studiul razelor ultraviolete de mică lungime de undă. O soluție de peptonă foarte limpede oprește de asemenea ace ste raze. Grăsimile sînt și ele opace: un strat de 0,1 mm grosime

oprește ultravioletul de $2\,240\text{ Å}$. Esența de terebentină și glicerina sînt transparente pentru razele ultraviolete.

În organism, corneea transparentă, care conține circa 20% collagen, oprește razele ultraviolete. Cristalinul, care conține 36% substanțe albuminoide, este foarte opac la radiațiile ultraviolete; acțiunea asupra cristalinului normal poate provoca o cataractă precocă. Epidermul are o absorbție selectivă, între $3\,200$ și $2\,650\text{ Å}$. Pielea este foarte opacă: la $3\,130\text{ Å}$, cam 30% din fasciculul incident ajunge la $0,1\text{ mm}$ adîncime, iar la $2\,890\text{ Å}$, radiația ajunge numai pînă la $0,05\text{ mm}$.

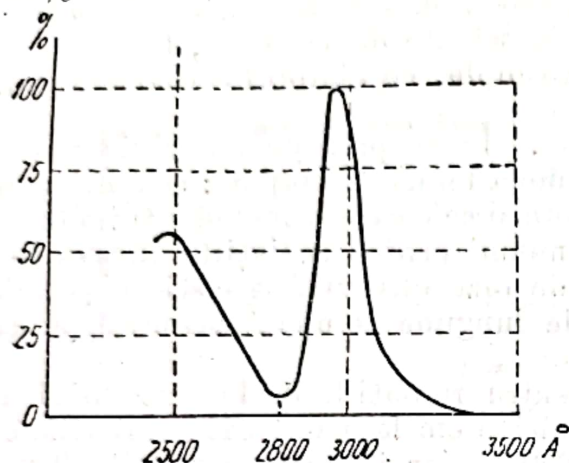


Fig. 243 — Curba de eritem.

f) Efectele fiziologice ale radiațiilor ultraviolete. Aceste raze modifică cantitatea de calciu și fosfor din sînge.

Radiațiile ultraviolete au acțiune asupra pielii. Ele pot da eriteme actinice și leziunea segmentului anterior al ochiului; de asemenea au influență asupra retinei. Experiența a arătat, încă la începutul actinoterapiei, că razele ultraviolete pînă la $\lambda = 3\,200\text{ Å}$ au o acțiune slabă asupra conjunctivei; cu lungimi de undă mai

scurte, pînă la $\lambda = 2\,500\text{ Å}$, razele sînt primejdioase și determină repede conjunctivite acute. În ultimele decenii s-au precizat condițiile în care se produc eritemele și s-au construit curbe de eritem; acestea prezintă un maxim la $2\,967\text{ Å}$ și unul de valoare mai mică la $2\,500\text{ Å}$ (fig. 243).

Împotriva acțiunii acestor radiații, organismul se apără printr-o congestie periferică: sîngele absoarbe în mare cantitate razele violete și ultraviolete. Se mai formează la iradiere un strat de sudoare care absoarbe de asemenea razele ultraviolete. S-a admis multă vreme că pielea se apără și prin pigmentare, ceea ce ar opri radiațiile actinice; s-a constatat însă că depozitele pigmentare nu constituie un mijloc de apărare, fiindcă o zonă poate deveni pigmentată fără a fi rezistentă, și ea poate fi rezistentă fără a fi pigmentată. De altfel, pigmentul datorit depozitului de melanină apare nu numai la expunerea la raze ultraviolete, ci și prin frecare a pielii, iritații medicamentoase etc.

Razele ultraviolete au o acțiune evidentă asupra sîngelui. În stare normală, eritrocitele nu sînt influențate, în schimb se produce o hiperleucocitoză, urmată de o leucopenie; în plasmă se constată mărirea procentului de calciu și fosfor și o scădere a glicemiei. Presiunea arterială coboară mai ales la hipertensivi.

Numeroase dozări au arătat acțiunea radiațiilor ultraviolete asupra schimburilor nutritive. Aceste radiații înlesnesc fixarea calciului și fosforului cînd proporția acestora este scăzută, cum este în cazul rahitismului, sau fixarea fierului, cum este cazul în anemii. Această acțiune, foarte utilizată în terapeutică, este datorită radiațiilor ultraviolete de lungime medie. Crescînd oxidările, actinoterapia devine utilă cînd metabolismul bazal este coborît. Acționînd asupra proteinelor, razele ultraviolete permit atingerea unui stadiu mai înaintat de dezintegrare, așa că aceste raze pot fi aplicate cu succes în gută, hiperoxalemie etc.

Asupra animalelor, efectele razelor ultraviolete sînt de asemenea pozitive. Expunerea are efecte analoge ingestiei vitaminelor. În zootehnia modernă se fac iradiieri și asupra animalelor tinere.

Lumina, în general, și razele ultraviolete, îndeosebi, prezintă o intensă acțiune bactericidă. Numeroși cercetători au arătat că radiațiile întîrzie dezvoltarea bacililor antraxului, distrug bacilul febrei tifoide. S-a constatat că această acțiune este datorită îndeosebi razelor actinice, care produc o oxidație accentuată. Astfel, s-au putut distruge streptococul și stafilococul în 10 secunde, vibrionul holerei în 30 de secunde și bacilul tetanosului în 60 de secunde.

Din examinarea sintetică a rezultatelor numeroaselor cercetări reiese că efectele razelor ultraviolete sînt uneori contradictorii. Astfel, unele aplicații asupra plantelor contribuie la dezvoltarea lor, altele la inhibarea creșterii; ele înlesnesc și reduceri și oxidări etc. Aceasta se datorește probabil dozelor și condițiilor diferite de aplicare.

g) **Radiatoare medicale pentru raze ultraviolete.** Aparatul medical cel mai mult utilizat pentru producerea și aplicarea razelor ultraviolete este lampa de cuarț cu vaporii de mercur. Această lampă, dînd o lumină bogată în raze ultraviolete, este utilizată în terapeutică, fiindcă permite o actinoterapie mai eficace.

Actinoterapia artificială are asupra fototerapiei naturale (helioterapie) și artificiale (finzenterapie) avantajul unei componente favorabile a radiațiilor obținute. În timp ce lumina solară cuprinde numai 1—2% raze ultraviolete, dar are 57% raze infraroșii și restul raze luminoase, lampa de cuarț cu vaporii de mercur furnizează circa 29% radiații ultraviolete, 21% radiații infraroșii și restul raze vizibile.

Lămpile de raze ultraviolete sînt formate în principiu dintr-un tub de cuarț care conține mercur. După cum am arătat se folosește cuarțul deoarece acesta este mai transparent decît sticla pentru radiațiile ultraviolete. În afară de aceasta, cuarțul se topește la o temperatură mai ridicată decît sticla. Descărcarea electrică în vaporii de mercur dă o lumină bogată în raze violet și ultraviolete.

În *lampa de curent continuu*, tubul de cuarț are formă de V sau de U, cu două mici rezervoare terminale A și C (fig. 244).

Rezervorul C, care se conectează la catodul circuitului de curent continuu, are o strangulare. Pentru a obține aprinderea se apleacă aparatul (care are un dispozitiv de basculare), astfel ca mercurul să curgă de la rezervorul anodic A la cel catodic C; se pune astfel lampa în scurt-circuit. Se readuce apoi lampa în poziție normală, ceea ce rupe scurt-circuitul. Scînteia care țîșnește în acel moment produce vaporizarea mercurului.

Readucînd tubul în poziția sa orizontală, descărcarea electrică se continuă în vaporii de mercur de joasă presiune produși. Regiunea catodică este mai luminoasă.

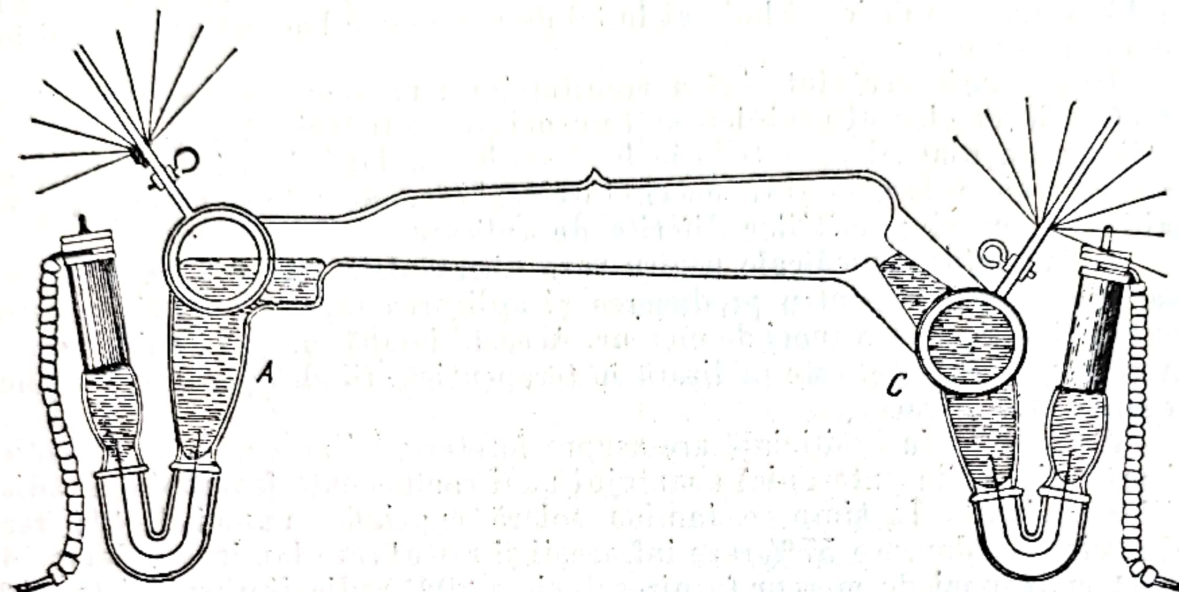
În timpul funcționării, tubul cu mercur se încălzește. Pentru a nu depăși temperatura optimă de funcționare, rezervoarele tubului sînt prevăzute cu radiatoare metalice în formă de aripioare, care risipesc căldura și mențin constantă temperatura aparatului.

La anod, temperatura fiind mai ridicată, mercurul distilează spre catod. Strangularea tubului în regiunea catodică are rolul de a împiedica această distilare și de a produce astfel o autoreglare: cînd spațiul îngustat, conic, este umplut cu mercur, flacăra catodică se micșorează, încălzirea catodică se mărește și vaporii de mercur încetează de a se mai condensa la nivelul catodului. Regimul se stabilizează în aproximativ 10 minute.

Lămpile pentru curent alternativ se deosebesc de cele de curent continuu prin tubul lor de cuarț, care are trei ramuri, astfel încât catodul se află în partea superioară și cei doi anodi în partea inferioară. Descărcarea are loc pe rând între fiecare din anodi și catod.

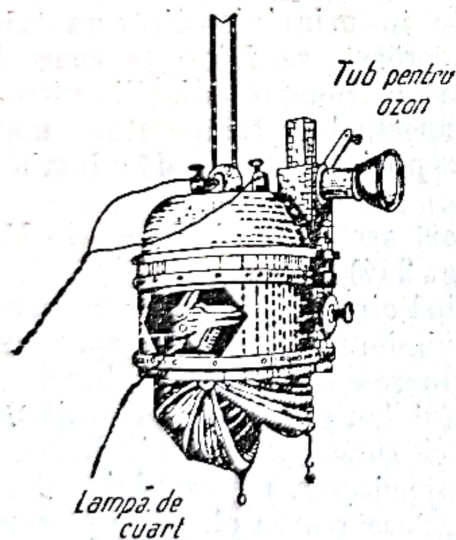
Atât lămpile de curent continuu, cât și cele de curent alternativ produc radiații ultraviolete cu $\lambda = 2\,100 - 4\,100 \text{ \AA}$.

Se constată la aceste lămpi un proces de îmbătrânire, cuarțul devenind



tubul de cuarț cu vapori de mercur (cu radiatoare metalice).

Fig. 244 — Lampă de raze ultraviolete:



din ce în ce mai opac și dând deci un randament descrescând. De aceea, după o funcționare de circa 500 de ore, timpul de expunere trebuie mărit succesiv, și după câțiva timp chiar dublat.

Lampa de cuarț are un reflector de metal lucios pentru a concentra razele pe regiunea de tratat. Reflectorul este de obicei de aluminiu și are formă sferică, prismatică sau parabolică. Pentru tratamentul local, reflectorul se închide, lăsându-se deschisă o fereastră, care uneori are un

ecran pentru oprirea razelor de lumină vizibilă. Lămpile de construcție sovietică au de multe ori un dispozitiv pentru utilizarea terapeutică a ozonului care se formează din oxigenul din aer în timpul funcționării lămpii.

S-au realizat lămpi de cuarț cu vapori de mercur cu o minuire mai lesnicioasă. Tubul de cuarț este cilindric și fix, iar amorsarea se face prin diferite procedee, cu ajutorul unor circuite secundare. Reflectoarele au formă cilindrică sau prismatică.

h) Aplicațiile medicale ale razelor ultraviolete. Aplicațiile medicale al razelor ultraviolete sînt cunoscute sub numele general de *actinoterapie*. Procedeele actinoterapice sînt bazate pe folosirea radiațiilor ultraviolete din lumina Soarelui, din cea difuză, din lumina arcului electric și a lămpii

de cuarț cu vapori de mercur. Aplicații bine dozate se pot face însă numai cu ajutorul radiatoarelor de ultraviolett.

În ce privește modul de acțiune terapeutică a radiațiilor ultraviolette trebuie să arătăm că ele produc efecte locale, în câmpul iradiat (acțiune bactericidă, eritem, efecte terapeutice în lupus, plăgi atone); ele produc și efecte mai îndepărtate, cum sînt modificările sanguine, ale nutriției, metabolismului calciului etc.

Eficacitatea tratamentului cu radiații ultraviolette se vedește în rahitism, spasmofilie, afecțiuni tuberculoase ganglionare, pulmonare, osteo-articulare; radiațiile ultraviolette activează circulația și măresc capacitatea eritrocitelor de a fixa oxigenul.

Experiența a arătat că razele ultraviolette sînt foarte puțin pătrunzătoare: stratul superficial al pielii absoarbe aproape în întregime radiațiile cu lungime de undă sub 2 890 Å. Totuși, se admite că efectele locale ale razelor ultraviolette sînt datorite unei acțiuni fotoelectrice directe a lor. Acestea ar produce o deplasare a electronilor periferici ai atomului sau a electronilor care fac legătura dintre atomii aceleiași molecule; se modifică astfel structura macromoleculelor care constituie substanțele proteice din țesuturile iradiate.

Cele mai importante efecte sînt însă cele mai depărtate; pentru explicarea mecanismului de acțiune a ultravioletului în metabolismul calciului se admite că substanțele modificate la suprafață sub acțiunea radiațiilor sînt transportate în organism. Astfel, ergosterolul din celulele cutanate epidermice și glandulare, ca și din celulele singelui, capătă prin iradiere proprietăți antirahitice. Experiența arată că aceleași radiații ($\lambda = 2\,800 - 3\,100$ Å) produc și maximum de eritem și activarea ergosterolului. Antrenat de circulație, ergosterolul activat se fixează în diferite organe și îndeosebi în ficat și splină.

i) **Protecția contra razelor ultraviolette.** În industrie, în terapeutică, precum și în viața curentă, se pune problema protecției contra razelor ultraviolette și a luminii bogate în aceste raze. În general, protecția este simplă din cauza absorbirii ușoare a razelor de către diferitele corpuri. Astfel, este de ajuns o îmbrăcăminte, chiar ușoară, pentru a opri acțiunea razelor ultraviolette asupra pielii. Mai dificilă este protecția ochilor. Sticlele ochelarilor nu opresc decît radiații mai mici de 3 000 Å. Sticlele albastre și violette nu opresc radiațiile actinice decît în mică parte. Se fabrică unele sticle care opresc complet aceste radiații. Sticlele acoperite cu gelatină picrată opresc chiar radiațiile mai refringente ale spectrului vizibil.

Medicii, personalul sanitar mediu și cel auxiliar, care lucrează în helio-, foto- și actinoterapie, trebuie să poarte astfel de ochelari. De asemenea, sudorii, topitorii, fotografiile industriale și heliografii, zincografii, operatorii din cinematografie, trebuie să-și protejeze ochii de radiațiile bogate în raze ultraviolette.

II. NOȚIUNI DE FOTOMETRIE

Fotometria are drept obiect măsurarea diferitelor caracteristici ale luminii date de izvoarele luminoase.

Pentru o bună înțelegere a fotometriei, care are aplicație în diferitele domenii ale medicinei și îndeosebi în igiena generală, în igiena muncii, igiena școlară, cum și în întreaga noastră activitate, trebuie să cunoaștem elementele curente de fotometrie.

A. CARACTERISTICILE LUMINII

1. FLUXUL LUMINOS

Cantitatea de energie luminoasă care trece printr-o suprafață în unitatea de timp, deci debitul de putere radiată apreciată după senzația luminoasă produsă, se numește flux luminos. Fluxul luminos Φ servește ca măsură

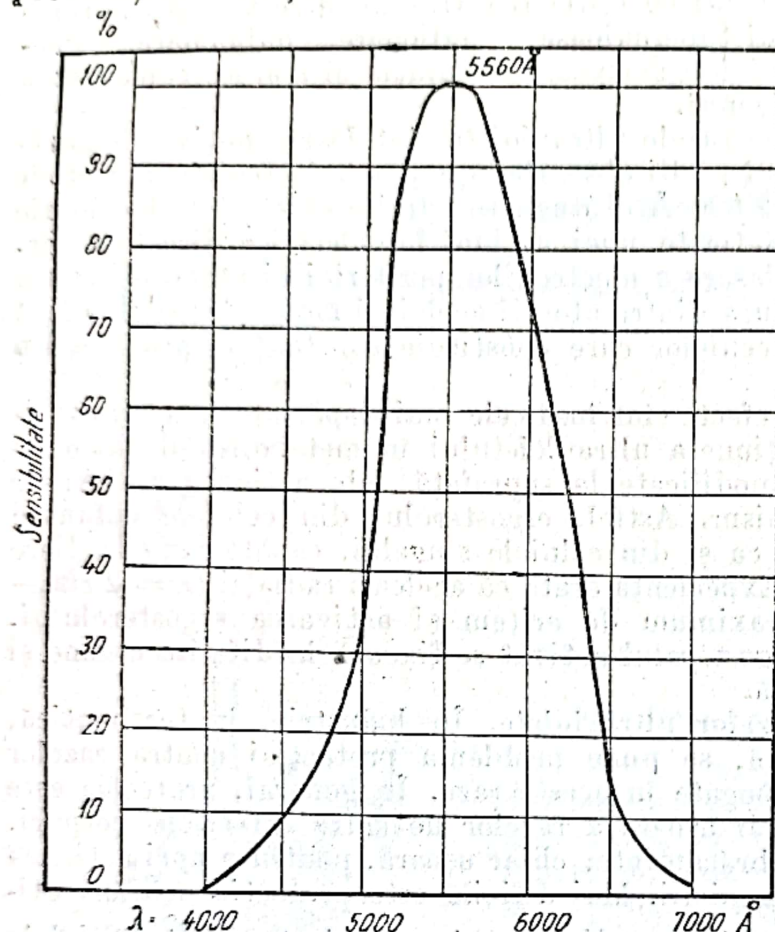


Fig. 245 — Curba de sensibilitate a ochiului pentru diferitele lungimi de undă.

radiției luminoase. Ochiul nostru are o sensibilitate diferită pentru diferitele lungimi de undă. El are sensibilitate maximă pentru radiația galbenă-verzuie menționată. Radiațiile albastre și roșii de la marginile spectrului vizibil produc o senzație luminoasă mai redusă. În fig. 245 este redată curba sensibilității ochiului, în procente, pentru diferite lungimi de undă. Din această curbă reiese că aceeași cantitate de energie radiantă dă diferite fluxuri luminoase, după culoarea radiației respective.

Etalonul fotometric fundamental. Etalonul bazat pe convențiile internaționale poate avea diferite forme și construcții. În U.R.S.S. a fost creat în 1948 un etalon nou de lumină; acesta este un radiator integral la temperatura de solidificare a platinei. Acest radiator integral (fig. 246) are forma unui tub (1) confecționat din oxid de toriu topit, având diametrul interior de 2,5 mm. Partea de jos a tubului este umplută cu praf de oxid de toriu. În jurul tubului și în interiorul vasului conic (3), constituit de asemenea din oxid de toriu, se află platina topită (2). Pentru a se realiza o izolare termică bună, vasul conic (3) este așezat într-un cilindru de cuarț

a puterii luminoase a radiației unui izvor luminos.

Unitatea de flux luminos se numește *lumen*. Un izvor cu putere de un watt produce un flux luminos de 621 de lumeni în lumina galbenă-verzuie ($\lambda = 5560 \text{ Å}$). Deci, un lumen (lm) are valoarea $1/621 \text{ W}$. În Uniunea Sovietică, lumenul este definit ca fiind fluxul luminos a cărui valoare de mai sus este determinată cu ajutorul unei lămpi electrice standardizate păstrată în Institutul central de metrologie al U.R.S.S.

Se utilizează și multiplul lumenului: decalumenul = 10 lm.

Fluxul luminos depinde de culoarea luminii, adică de lungimea de undă a ra-

(4), umplut și el cu oxid de toriu. Platina se topește cu ajutorul curenților de înaltă frecvență (prin inducție). Partea interioară a tubului (1), care se observă prin orificiul din capacul vasului conic (3), reprezintă radiatorul integral, reproducând la solidificarea platinei unitatea de flux luminos, adică lumenul, cu o aproximație de 0,1%. Celelalte unități fotometrice, pentru intensitate luminoasă, strălucire, iluminare etc., se definesc pe baza acestei determinări a lumenului.

2. INTENSITATEA

Fluxul luminos al unui izvor de lumină determină însă numai puterea acestuia. Pentru a caracteriza efectul de iluminare dat de izvor într-o anumită direcție, se folosește mărimea numită *intensitate luminoasă*. Intensitatea luminoasă I este definită ca fiind fluxul luminos emis într-o direcție dată, în unitatea de unghi solid (unghi de volum), de un izvor punctiform de lumină.

$$\text{Intensitatea} = \frac{\text{Flux luminos}}{\text{Unghi solid}}$$

Unitatea de intensitate luminoasă este candela (cd), după Stas 740/1949. Această unitate reprezintă unitatea luminoasă a unui izvor punctiform care emite un flux luminos de un lumen pe un unghi solid de 1 steradian [unghiul solid de un steradian este conul C (fig. 247) care are vârful în centrul unei sfere cu raza de 1 m, iar ca bază o porțiune de sferă cu suprafața de 1 m²].

Candela este *unitatea fundamentală în fotometrie*.

Ea are valoarea:

$$1 \text{ candelă (cd)} = \frac{1 \text{ lumen (lm)}}{1 \text{ steradian (str)}}$$

O sursă de lumină nu are aceeași intensitate în toate direcțiile. Se reprezintă repartiția intensităților luminoase printr-un grafic obținut cu ajutorul unor coordonate polare, ducând pe drepte care pornesc de la sursă în diferite direcții, ca raze de lumină, lungimi proporționale cu intensitatea luminoasă în fiecare direcție. Se unesc apoi cu o curbă extremitățile acestor linii și se obține astfel un grafic care reprezintă repartiția intensității luminoase a sursei.

Pentru o lampă electrică incandescentă, acest grafic (fig. 248) arată că iluminarea produsă pe o suprafață dată variază cu poziția sursei și a suprafeței. Dacă lumina ajunge direct de la sursă, trebuie luată în considerare numai intensitatea luminoasă în direcția suprafeței iluminate.

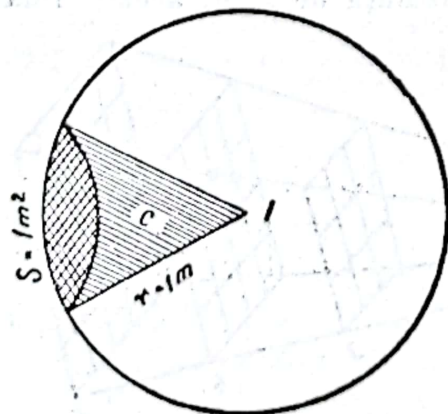


Fig. 247 — Unghiul solid de un steradian.

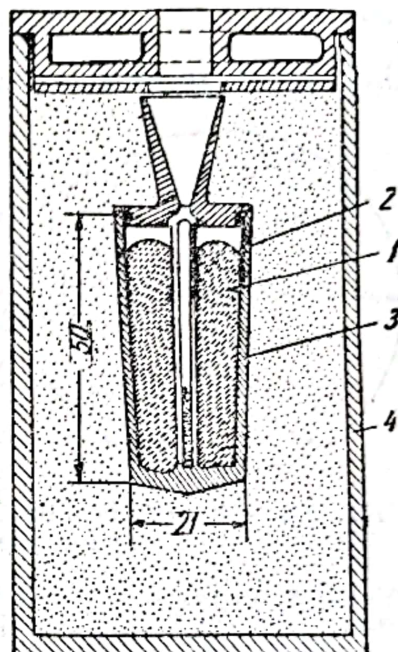


Fig. 246 — Schema etalonului fundamental de lumină (U.R.S.S.).

3. ILUMINAREA

Iluminarea E a unei suprafețe este raportul dintre fluxul luminos distribuit uniform pe o suprafață S și mărimea acestei suprafețe.

$$\text{Iluminarea} = \frac{\text{Flux luminos}}{\text{Suprafață}}$$

Unitatea de iluminare se numește lux (lx). Ea reprezintă fluxul luminos

de un lumen repartizat uniform pe o suprafață de 1 m^2 .

Deci:

$$1 \text{ lux (lx)} = \frac{1 \text{ lumen (lm)}}{1 \text{ m}^2}$$

Această unitate de măsură este încadrată în sistemul MKS. Pentru a avea aceeași iluminare pe cm^2 (pe a zecea mia parte dintr-un metru pătrat) se

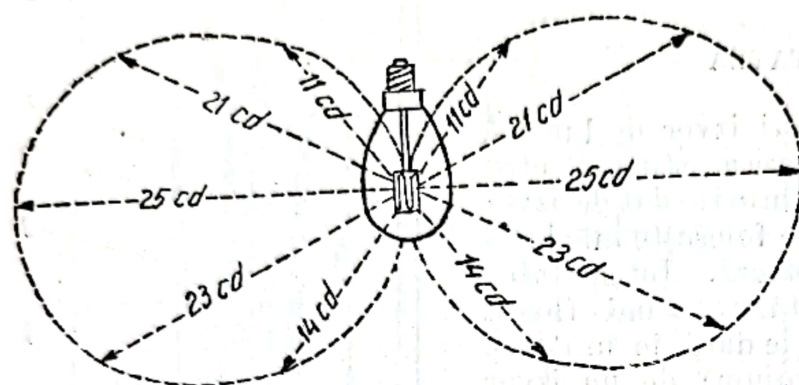


Fig. 248 — Repartiția intensității luminoase la o lampă cu incandescență.

folosește unitatea în sistemul CGS numită fot (ph); este evident că un lux este a zecea mia parte dintr-un fot: $1 \text{ ph} = 10^4 \text{ lx}$. Este folosit și sub multiplul: milifotul = $0,001 \text{ ph}$.

Pentru ca o sală să fie bine iluminată trebuie să aibă în fiecare punct 20 — 30 lx; pentru scris și citit este necesară o iluminare de 40 — 50 lx. Măsurarea iluminării se face cu aparate numite luxmetre, despre care va fi vorba mai departe.

Iluminarea se conduce după două legi care au o deosebită importanță practică, atât pentru îngrijirea preventivă a sănătății, cât și pentru o bună desfășurare a procesului muncii în toate domeniile.

a) **Prima lege a iluminării** a fost descoperită de Lambert (1828—1877). Această lege se formulează astfel: iluminarea produsă de un izvor luminos punctiform M pe o anumită suprafață este invers proporțională cu pătratul distanței de la suprafață la izvorul punctiform de lumină (fig. 249).

Într-adevăr, se poate verifica ușor faptul că, dacă o suprafață S_1 în mărime de 1 m^2 , aflată la distanță de 1 m de izvorul luminos punctiform, este iluminată cu iluminarea E , atunci, la distanța de 2 m, același flux luminos va ilumina o suprafață S_2 care este de patru ori mai mare decât S_1 , și deci iluminarea va fi de patru ori mai mică. Dacă avem suprafața S_3 la distanță de 3 m, atunci același flux se va distribui pe o suprafață de 9 ori mai mare, deci va fi iluminată de 9 ori mai slab.

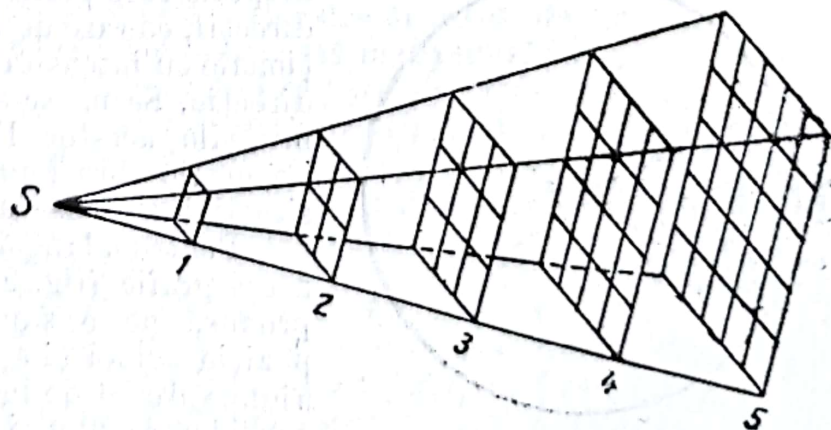


Fig. 249 — Iluminarea este invers proporțională cu pătratul distanței de la izvorul punctiform S .

Aceasta se poate scrie astfel:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{d_1^2}{d_2^2}; \quad \frac{E_3}{E_1} = \frac{d_1^2}{d_3^2} \text{ etc.}$$

b) **Legea a doua a iluminării** se mai numește și legea cosinusului. Experiența arată că iluminarea cu raze paralele a unei suprafețe care nu este perpendiculară pe fasciculul de raze (fig. 250) este mai slabă decât iluminarea cu același fascicul a unei suprafețe perpendiculare, deoarece, în cazul incidenței oblice, același flux luminos cade pe o suprafață mai mare.

Legea cosinusului arată că iluminarea este proporțională cu cosinusul unghiului de incidență a razelor de lumină. În adevăr, suprafața AB fiind proiecția suprafeței oblice AC , între ele există relația cunoscută

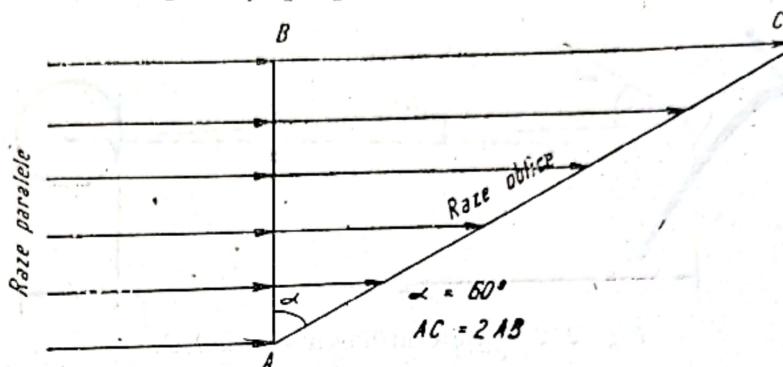


Fig. 250 — Pe o suprafață oblică, iluminarea este mai mică decât pe aceea pe care lumina cade perpendicular.

$$AB = AC \cos \alpha,$$

și cum, după prima lege a iluminării, suprafețele sînt invers proporționale cu iluminarea, vom avea

$$E_{obl.} = E_{perp.} \cos \alpha.$$

Cosinusul avînd valoare mai mică decât 1 pentru orice unghi mai mare decât zero, relația ultimă arată că iluminarea oblică are valoarea mai mică decât cea perpendiculară și că este cu atît mai mică cu cît unghiul α este mai mare. La un unghi (fig 251) $\alpha = 90^\circ$ pentru care cosinusul are valoarea zero, $E_{obl.} = 0$; razele fiind paralele cu suprafața, nu o mai luminează.

4. STRĂLUCIREA

Strălucirea este mărimea fotometrică ce caracterizează radiația izvoarelor de lumină și a suprafețelor luminate de ele. Strălucirea arată natura distribuirii fluxului luminos într-o anumită direcție.

Considerînd o suprafață luminoasă S_1 , fluxul luminos Φ , care cade de pe această suprafață pe pupilă, este egal cu produsul dintre iluminarea pupilei E_{pup} și suprafața pupilei S_{pup} :

$$\Phi_{pup} = E_{pup} \cdot S_{pup}.$$

Iluminarea pupilei este

$$E_{pup} = \frac{I}{L^2},$$

unde L este distanța de la S_1 la centrul (cristalinului) ochiului și I este intensitatea luminoasă a suprafeței S_1 în direcția ochiului. Fluxul care cade pe pupilă este deci:

$$\Phi_{pup} = \frac{S_{pup} \cdot I}{L^2}.$$

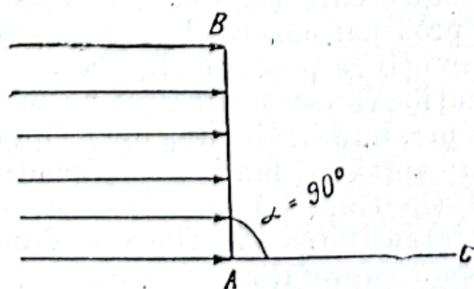


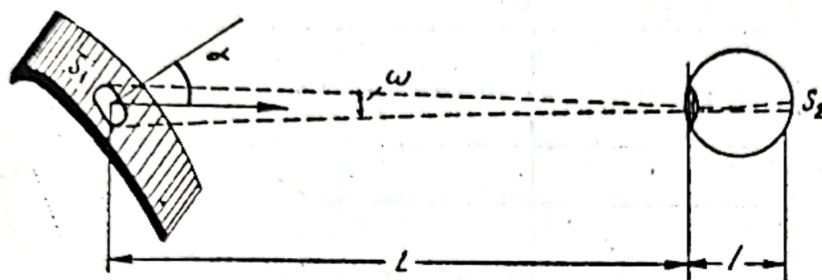
Fig. 251 — Razele paralele nu mai luminează suprafața AC .

Iluminarea produsă pe retină va fi următoarea

$$E_{ret} = \frac{\tau \cdot \Phi_{pup}}{S_2} = \frac{\tau S_{pup} \cdot I}{l^2 \cdot S_2}$$

unde am notat cu τ coeficientul de absorbție a fluxului luminos de către umoarea apoasă a ochiului (coeficient de transmisie) și cu S_2 suprafața iluminată pe retină.

Din fig. 252 se vede că, după regulile opticii geometrice, avem



$$\frac{S_1 \cos \alpha}{S_2} = \frac{L^2}{l^2}$$

Iluminarea de reprezentare pe retină va fi deci:

$$E = \frac{\tau \cdot S_{pup} \cdot I}{l^2 \cdot S_1 \cdot \cos \alpha}$$

Nivelul senzației luminoase este deter-

minat de valoarea iluminării de reprezentare pe retină.

Din formulele de mai sus reiese deci că, la observarea unei suprafețe oarecare, senzația luminoasă depinde de suprafața pupilei, de intensitatea luminoasă I în direcția ochiului, de valoarea proiecției suprafeței luminoase pe o suprafață perpendiculară pe direcția de observare ($S_1 \cdot \cos \alpha$). Senzația luminoasă nu depinde de distanța de la suprafața luminoasă la ochi, cînd în mod obișnuit nu există pe această distanță un mediu care absoarbe lumina.

$$\text{Valoarea } \frac{I}{S_1 \cos \alpha},$$

care este raportul dintre intensitatea luminoasă în direcția dată și proiecția suprafeței luminoase pe o suprafață perpendiculară pe această direcție, se numește strălucirea suprafeței și se notează cu B .

$$B = \frac{I}{S_1 \cos \alpha}.$$

Majoritatea izvoarelor de lumină și multe corpuri luminate care reflectă sau transmit lumina prezintă practic aceeași strălucire, oricare ar fi direcția din care le privim. Astfel de suprafețe se numesc de strălucire egală sau perfect difuzante. Putem cita ca exemplu filamentul incandescent al unei lămpi electrice, suprafața globurilor opalescente (lăptoase) care acoperă lămpile electrice, hîrtia mată, zăpada proaspăt căzută, la care gradul de neuniformitate a strălucirii în diferite direcții se poate neglija etc.

Unitatea de strălucire acceptată internațional este *stilbul* (în limba greacă = a străluci, a lumina). Stilbul (sb) reprezintă strălucirea unei suprafețe plane de dimensiuni mici ale cărei puncte sînt egal luminoase și pentru care raportul dintre intensitatea luminoasă (în candelale) și suprafața (în cm^2) este egal cu unitatea, strălucirea și intensitatea luminoasă fiind măsurate în direcția perpendiculară pe această suprafață.

$$1 \text{ stilb (sb)} = \frac{1 \text{ candelă}}{1 \text{ cm}^2}$$

În sistemul de unități practice MKS se folosește, cu începerea din 1948, alături de stilb, și unitatea de strălucire decimililb (dmsb). Decimililbul se mai numește și apostilb, și are drept valoare:

$$1 \text{ apostilb (asb)} = \frac{1 \text{ candelă}}{1 \text{ m}^2}.$$

B. METODE FOTOMETRICE

1. FOTOMETRIE SUBIECTIVĂ

Pînă în 1920 erau folosite metode fotometrice subiective, prin care pe cale vizuală se apreciau caracteristicile izvoarelor de lumină. Pentru a compara diferitele izvoare de lumină, ne folosim de obicei de ochi. Ochiul nostru nu poate însă aprecia de cîte ori iluminarea unei suprafețe este mai mare decît iluminarea alteia. În schimb, ochiul stabilește foarte precis egalitatea iluminărilor a două suprafețe învecinate. De aceea, toate aparatele numite fotometre, și care servesc la compararea a două surse luminoase, sînt construite astfel încît rolul ochiului să constea numai în constatarea iluminării egale a două cîmpuri învecinate, iluminate de cele două surse care trebuie comparate.

Pentru obținerea egalității de iluminare s-au aplicat diferite procedee care să micșoreze iluminarea dată de sursa cea mai puternică. În principiu procedeul cel mai simplu este variația distanței dintre sursa mai puternică și fotometru pînă ce se obține o iluminare egală cu cea dată de sursa mai slabă. O dată obținută această iluminare egală a unei suprafețe de către ambele surse se aplică prima lege a iluminării:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

Din cauza dimensiunilor limitate ale aparatelor, neputînd așeza un izvor luminos puternic la o distanță prea mare pentru ca iluminarea să fie egală cu cea a unui izvor foarte slab aflat mai aproape, s-a recurs la alte procedee de micșorare a iluminării, decît prin varierea distanței. Dintre aceste procedee face parte absorbția luminii prin filtre de grosime variabilă, în formă de pană, prisme de polarizare, rețele cu fire și spații de diferite dimensiuni etc. Fiecare din aceste procedee prezintă avantaje și dezavantaje.

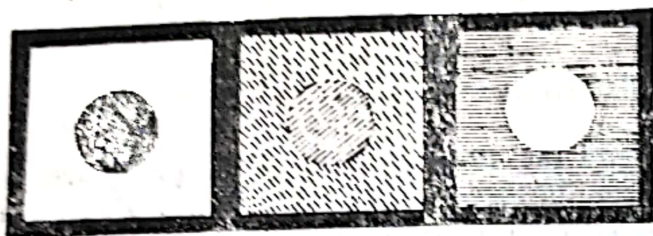
Dacă intensitatea uneia din surse este cunoscută și se ia drept etalon, se poate măsura în acest mod intensitatea celeilalte surse într-o anumită direcție sau în diferite direcții și se pot calcula apoi, cu ajutorul formulelor arătate, fluxul luminos, iluminarea, strălucirea etc.

Măsurarea intensității cu ajutorul fotometrelor subiective se face în practică observînd un cîmp format din două părți: una luminată numai de una din surse, iar cealaltă numai de sursa cealaltă, ambele surse fiind sub același unghi; de asemenea, ochiul observatorului trebuie să privească și el ambele cîmpuri sub același unghi.

a) **Fotometrul Bunsen.** Fotometrul clasic, pe principiul căruia se mai construiesc și azi fotometre subiective, este fotometrul imaginat de Bunsen (fig. 253).

Acest fotometru, numit și fotometrul „cu pată de ulei“, este compus dintr-un disc de hîrtie care are la mijloc o pată de ulei și este fixat pe un

Scanned with OKEN Scanner



izvoarelor de lumină este egal cu raportul invers al pătratelor distanțelor de la izvorul respectiv la discul de hirtie.

b) **Fotometrul cu prismă.** În fig. 254 se arată modul de realizare a acestui principiu la unul din fotometrele cele mai simple.

La acest aparat, ochiul

Pentru a măsura iluminarea în diferitele puncte din spațiu se folosesc, sub numele de luxmetre, aparate care, fără a fi extrem de exacte, pot fi minuite rapid. Pe principiul fotometrului cu pată de ulei descris mai înainte se construiește un aparat care are o serie de ferestre prevăzute cu ecrane translucide; acestea sînt așezate la distanțe din ce în ce mai mari de izvorul luminos etalon, care este o lampă electrică cu incandescență (fig. 255). Fețele interioare ale ecranelor primesc o iluminare variabilă, din cauza distanțelor variabile de la sursa etalon, în timp ce fețele exterioare sînt iluminate de sursa pe care dorim s-o măsurăm. Printre toate ferestrele se va găsi una a cărei pată centrală este aproape invizibilă, fiindcă este iluminată egal pe cele două fețe. O gradație de pe aparat dă imediat iluminarea în luși.

c) **Spectrofotometrul.** Metodele menționate nu dau însă indicații precise asupra compoziției spectrale a luminii studiate; ele nu pot arăta dacă un ecran de sticlă sau un strat de aer sau de soluție absoarbe în mod egal sau inegal diferitele radiații ale luminii. Spectrofotometrele sînt destinate, fie analizelor unei radiații luminoase sau surselor luminoase, fie studiului spectral al absorbției luminoase. Același aparat poate fi deci folosit pentru aceste două întrebări diferite.

În spectrofotometru se obțin spectrele a două radiații, cel puțin unul din aceste spectre trebuind să fie cunoscut și intensitatea sa etalonată: acesta este spectrul-marțor. Măsurarea constă în a compara spectrul studiat

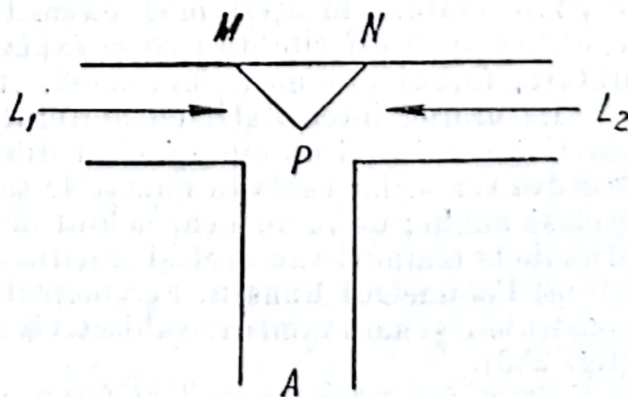


Fig. 254 — Fotometrul cu prismă.

cu spectrul-martor într-o mică regiune spectrală. Se poate astfel măsura intensitatea diferitelor radiații ale spectrului studiat sau preciza absorbția pe care o suferă ele din partea unui corp studiat.

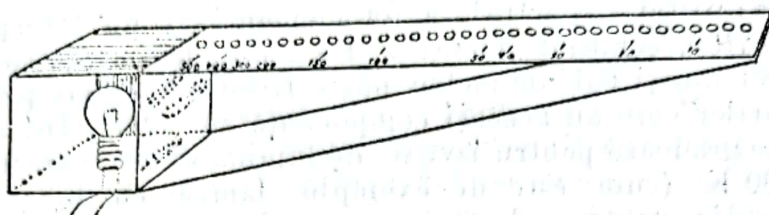


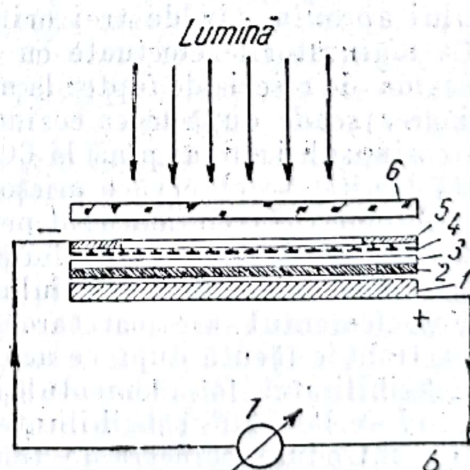
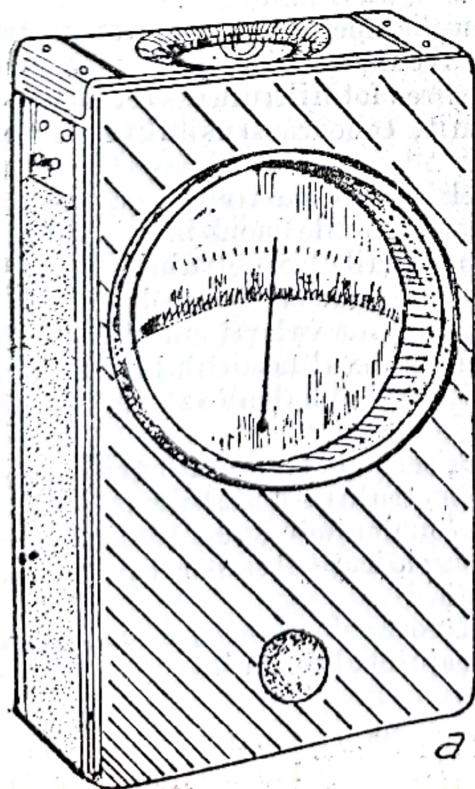
Fig. 255 — Luxmetru construit pe principiul fotometrului cu pata de ulei.

2. FOTOMETRIE OBIECTIVĂ

Din 1920, măsurarea caracteristicilor luminii a început să se facă prin metode obiective. Progresele realizate în fabricarea fotoelementelor au înlesnit crearea unor aparate mult mai practice și care elimină toate erorile legate de măsurarea subiectivă.

a) **Luxmetrul fotoelectric.** Dintre aceste fotometre, cel mai folosit este luxmetrul cu fotoelement de seleniu, cu strat de baraj. Partea fotosensibilă a acestui luxmetru este constituită dintr-o celulă de seleniu; aceasta este formată dintr-o placă de oțel peste care este așezat un strat de seleniu (metaloid din familia sulfului), prin care razele de lumină nu pot trece. Peste stratul de seleniu este depus un strat transparent de circa 5μ de aur (sau de platină). Între placa de oțel și stratul de seleniu se formează stratul de baraj care permite trecerea unilaterală a curentului electric. Deasupra stratului de aur se află un inel metalic care se leagă de borna negativă a fotoelementului, borna pozitivă fiind legată de placa de oțel.

Sub acțiunea luminii, în stratul exterior de seleniu sînt liberați electroni care nu pot străbate stratul de baraj, ci trec numai de la seleniu spre



a — luxmetru fotoelectric (construcție).
b — schema luxmetrului fotoelectric cu seleniu; 1 — placă de oțel; 2 — strat de blocare (baraj); 3 — strat de seleniu; 4 — strat de aur transparent; 5 — inel metalic; 6 — filtru; 7 — galvanometru;

Fig. 256 — Luxmetru obiectiv.

stratul de aur. Când circuitul fotoelementului se închide prin galvanometru, apar în circuit curenți fotoelectrici în sensul arătat de săgeată (fig. 256).

Conductibilitatea unilaterală și aplicațiile ei vor fi descrise mai amănunțit la capitolul „redresori” și la studiul celulelor fotoelectrice.

Curba sensibilității spectrale a fotoelementului nu corespunde sensibilității spectrale a ochiului omenesc. De aceea, un luxmetru fotoelectric cu celulă de seleniu și galvanometru poate fi folosit numai pentru compararea iluminărilor care au aceeași componentă spectrală. De obicei, astfel de luxmetre se gradează pentru izvoare de lumină având temperatura de culoare de 2800°K (cum este de exemplu lampa cu incandescență de $100-200\text{ W}$), adică pentru radiația pe care o dă la temperatura de 2800°K radiatorul integral (corpul perfect negru).

Pentru a evita corecțiile și neajunsurile legate de compoziția spectrală diferită a luminii de măsurat și pentru a mări precizia luxmetrelor, se așază în luxmetrele mai perfecționate, înaintea fotoelementului, un filtru corector galben-verzui, care are transmisia scăzută în domeniile violet și roșu ale spectrului. Confectionat și gradat cu grijă, sistemul fotoelement cu seleniu și filtru galben-verzui corector are o curbă de sensibilitate spectrală de formă aproape identică cu a curbei de vizibilitate a ochiului. Folosind un astfel de luxmetru fotoelectric perfecționat, iluminarea dată de izvoare de lumină cu o compoziție spectrală care se poate măsura fără nici un fel de calcule sau corecții. Fotoelementele de seleniu folosite la aceste luxmetre au o sensibilitate foarte mare la lumină, atingând 400 de microamperi pe lumen și mai mult. De exemplu, dacă suprafața fotoelementului este $S = 20\text{ cm}^2 = 20 \times 10^{-4}\text{ m}^2$, la o iluminare $E = 100\text{ lx}$, cade pe fotoelement un flux luminos de

$$\Phi = E \cdot S = 100 \cdot 20 \cdot 10^{-4} = 0,2\text{ lm},$$

asa că la o sensibilitate de $400\text{ }\mu\text{A/lm}$, curentul în circuitul exterior va fi egal cu

$$i = 400 \cdot 0,2 = 80\text{ }\mu\text{A}.$$

Folosind ca instrument de măsurat un miliampermetru — galvanometru portativ cu sensibilitatea $10^{-6}\text{ A/diviziune}$, avem posibilitatea să măsurăm iluminări de la aproximativ 1 lx în sus. Folosirea fotofiltrului corector, care absoarbe circa $2/3$ din fluxul luminos primit, coboară sensibilitatea luxmetrului aproximativ de trei ori.

La măsurătorile efectuate cu luxmetrul de seleniu trebuie să se țină seama de o serie de fapte: la mărirea unghiului de incidență a luminii, iluminarea scade după legea cosinusului. Indicațiile luxmetrului scad după legea cosinusului numai până la 60° ; mărindu-se unghiul de incidență peste această limită, se observă o micșorare însemnată a valorii curentului. De aceea, fotometrul trebuie așezat perpendicular pe axul fasciculului luminos, iar pentru iluminările care trebuie să vină oblic se calculează iluminarea cu ajutorul cosinusului unghiului.

Fotoelementul are oarecare inerție la schimbarea iluminării, așa că citirea trebuie făcută după ce acul galvanometrului s-a stabilizat.

Sensibilitatea fotoelementului de seleniu depinde și de temperatură. Începând de la -20° , sensibilitatea scade cu ridicarea temperaturii, așa că trebuie introduse corecții de temperatură.

Când se cunoaște distanța d până la izvorul de lumină, intensitatea luminoasă I a acestui izvor se calculează cu ajutorul formulei

$$I = E \cdot d^2.$$

La măsurări trebuie să se observe ca pe fotoelement să cadă numai umina directă a izvorului pe care-l măsurăm. Dacă măsurătoarea se face

Într-o cameră cu pereți de culoare deschisă, se așază în fața fotoelementului un cilindru destul de larg, cu pereții interiori negri. Distanța de la izvorul de lumină până la fotometru trebuie să fie de cel puțin cinci ori mai mare decât dimensiunile izvorului luminos.

În practica laboratoarelor fototehnice, măsurarea fluxului luminos se face cu ajutorul unei sfere mari, goală în interior și vopsită în alb mat. În lăuntrul sferei se așază per rînd o lampă etalon, al cărei flux luminos este cunoscut, precum și izvorul supus măsurării. Iluminarea medie a suprafeței interioare a peretelui acestei sfere este proporțională cu fluxul luminos total al izvorului din interiorul sferei. Așezînd pe suprafața interioară a sferei un fotoelement cu fotofiltru corector, se obține în circuitul acestuia curentul fotoelectric corespunzător. Intensitatea acestui curent va fi proporțională cu fluxul luminos al izvorului. Pe fotoelement nu trebuie să cadă, în acest caz, razele directe de la izvorul de lumină; în acest scop se fixează între fotoelement și izvor un ecran alb și opac.

b) **Măsurarea termoelectrică a caracteristicilor luminii.** Dintre aparatele termoelectrice, elementul termoelectric poate servi la măsurarea caracteristicilor luminii. Curentul electric ia naștere în aceste termoelemente ca rezultat al încălzirii diferențiale a sudurilor și este proporțional, într-un interval destul de mare, cu puterea radiației. Dacă acoperim bine sudurile cu negru de fum, cuplurile termoelectrice pot fi folosite pentru măsurarea oricăror radiații, adică a fluxurilor energetice de lungime de undă luminoasă. Elementele termoelectrice prezintă o inerție mult mai mare decât celulele fotoelectrice.

c) **Fotografierea** este și ea folosită pe scară largă pentru înregistrarea și măsurarea fluxurilor luminoase. Înnegrirea plăcii fotografice depinde de iluminare. Același flux poate produce o înnegrire diferită a plăcii fotografice, în funcție de suprafața pe care este distribuit. Placa fotografică are avantajul că are efect integrant și înregistrator: dacă crește timpul de iluminare, crește și înnegrirea. Cu ajutorul plăcii fotografice se pot detecta fluxuri de putere extrem de mică dacă ele acționează timp mai îndelungat. Metodele fotografice sînt utilizate în fotometria modernă pentru înregistrarea fluxurilor luminoase de lungimi de undă începînd de la cele mai scurte pînă la circa 12 000 Å.

d) **Metodele termice.** Se întrebuintează metode fotometrice, care se bazează pe fenomenele secundare ce apar în urma încălzirii datorite fluxului luminos absorbit. M. I. Veingherov aplică pe o lamă de cuarț un strat subțire de bismut, formînd astfel un sistem asemănător lamelor bimetalice întrebuintate la măsurarea temperaturilor. Foița dublă de cuarț și bismut se suspendă în vid. Îndreptînd o radiație asupra ei, ea se încălzește și, datorită diferenței mari dintre coeficienții de dilatație ai cuarțului și bismutului, foița se încovoie. Deformația se poate măsura, fie direct cu microscopul, fie prin devierea unei raze reflectate pe capătul liber al foiței.

e) **Metoda bolometrică.** O metodă folosită în secolul trecut pentru înregistrarea razelor infraroșii este metoda numită bolometrică. Ea nu a mai fost folosită multă vreme, nefiind destul de sensibilă. În ultimul timp, B.P. Kozîrev a perfecționat-o și a adus-o în rîndul metodelor fotometrice obiective termice care pot fi folosite cu succes. Principiul acestei metode este următorul: o fișie de aur subțire este suspendată în vid. La încălzirea ei sub acțiunea radiațiilor luminoase, variază rezistența electrică a acestei benzi, fenomen care se poate măsura cu ajutorul unei punți sau cu un ohmmetru sensibil; inerția termică a aparatului este neglijabilă din cauza masei mici a benzii de aur.

C. IGIENA ILUMINATULUI

Iluminatul are un rol foarte important în igiena generală.

1. CULOAREA LUMINII

Culoarea luminii întrebuințată trebuie să fie cât mai apropiată de cea a luminii zilei: să nu aibă prea multe radiații roșii și nici albastre sau violete. Radiațiile ultraviolete care iau naștere în diferitele lămpi electrice cu incandescență sînt oprite de pereții de sticlă ai becului, așa că nu sînt nocive.

2. ILUMINAREA

Iluminarea are o influență asupra acuității vizuale, asupra vitezei la citit sau la lucru, asupra vitezei acomodării vizuale și asupra vederii culorilor. Experiența arată că acuitatea vizuală crește mai repede pînă la o iluminare de 10 lx, apoi crește mai încet deasupra acestei valori. Dacă citim o pagină la o iluminare strict suficientă pentru mărimea caracterelor respective, se constată că viteza lecturii descrește repede. Dimpotrivă, dacă iluminatul inițial este mult mărit, viteza de citire rămîne constantă.

Anumite feluri de muncă cer o permanentă acomodare, privirea îndreptîndu-se mereu spre obiecte aflate la distanțe diferite. Acest fel de muncă se efectuează normal, fără oboseală, dacă obiectele sînt iluminate mult peste valoarea necesară pentru a se obține acuitatea vizuală maximă.

În tabelul 36 sînt redată valorile medii pe care trebuie să le aibă iluminarea la locurile de muncă sau în încăperile din locuințe.

Tabelul 36

Locul de muncă sau încăperea	Iluminatul mediu (lx)
Sală de masă, cameră de locuit	30
Birouri	50
Camere auxiliare (coridoare, scări)	15
Bucătării	60
Masă de birou	80
Masă de lucru pentru rufărie	150
Muncă industrială foarte fină	500
Muncă industrială fină	200
Muncă industrială mijlocie	100
Muncă industrială piese mari	60
Desen industrial	120
Dactilografie	80
Confecții, țesături de culoare deschisă	120
Confecții, țesături de culoare închisă	300

În sălile de operație trebuie să avem pe cîmpul operator o iluminare de circa 5 000 lx. Se întrebuințează în acest caz aparate speciale, alcătuite dintr-o lampă electrică puternică așezată într-un difuzor, format din numeroase oglinzi, de preferință metalice, cromate și așezate la o înălțime convenabilă. Acest fel de lămpi se numesc lămpi scialitice. Dispozitivul optic amintit permite să se obțină la distanță de un metru o iluminare de 6 000—10 000 lx pe un cerc central de 10—15 cm diametru și de 2 000—3 000 lx în afară de acest cerc, pînă la o distanță de 60 cm. Cu asemenea lămpi, nu se produc nici orbiri, nici degajare de căldură (căldura este absorbită de sticla opacă la razele

infraroșii, aflată sub lampă). Emise din toate punctele reflectorului, razele luminoase converg pe cimpul operator și astfel nu se produc nici umbrele miinilor operatorului sau ale instrumentelor. Iluminarea cimpului se face astfel uniform pînă în părțile cele mai adinci ale plăgii.

D. COLORIMETRIA

Colorimetria este o metodă de analiză fizică, utilizată curent în laboratorul medical. Ea constă în determinarea concentrației unei soluții de substanță colorată după intensitatea culorii ei, în comparație cu o soluție etalon din aceeași substanță.

Prin examinarea culorii unei soluții, deci a absorbției diferențiale mai mari sau mai mici a radiațiilor luminoase, cum și prin procedeele subiective și obiective folosite pentru determinarea intensității luminii care a străbătut soluția colorată, *colorimetria este, evident, un caz particular al fotometriei.*

Metoda se aplică la două categorii principale de substanțe: unele substanțe au culoarea lor proprie și solventul este incolor. Din această categorie fac parte soluții neorganice (sulfat de cupru în apă, iod în sulfură de carbon, brom în cloroform, $K_2Cr_2O_7$ în apă), soluții de substanțe organice (iodoform, săruri de rozanilină), cum și soluții de substanțe fiziologice animale (hemoglobină, urobilină) și substanțe fiziologice vegetale (indigo, curcuma etc.).

Alte substanțe dau naștere la soluții colorate sub influența diferiților reactivi de laborator; din această categorie fac parte soluțiile de substanțe neorganice, cum sînt sărurile cuproamoniacale și substanțele fiziologice ca acidul uric în prezența cianurilor.

1. PRINCIPIUL METODEI COLORIMETRICE ABSOLUTE

Principiul metodei colorimetrice se poate formula astfel:

Un fascicul luminos care străbate o substanță colorată dizolvată într-un lichid incolor are, la ieșire, o intensitate luminoasă mai mică decît la intrarea în soluția colorată, din cauză că o parte din radiațiile luminoase au fost absorbite de substanța colorată. Absorbția este cu atît mai puternică cît soluția este mai intens colorată și cu cît fasciculul luminos trebuie să parcurgă o distanță mai mare în mediul colorat. Absorbția este deci în funcție de concentrația substanței dizolvate și de grosimea stratului de lichid străbătut.

După legea lui Lambert-Beer, între intensitatea I_0 a fasciculului luminos la intrarea în soluția colorată și intensitatea I a fasciculului la ieșirea din această soluție, există relația următoare:

$$I = I_0 e^{-kcl},$$

unde c este concentrația soluției în grame la %; l este distanța în cm parcursă de raza de lumină în mediul absorbant; k este un factor specific de absorbție al substanței date, și care se determină dînd lui c valoarea 1 gram la % și lui l valoarea 1 cm; e este baza sistemului de logaritmi naturali.

Cum distanța parcursă l poate fi oricînd măsurată, putem determina valoarea concentrației c măsurînd intensitățile luminoase I_0 și I .

2. METODA RELATIVĂ

Metoda absolută de determinare a concentrației substanței colorate dizolvată într-un mediu necolorat este însă greoaie, determinarea valorii intensităților cerînd operații laborioase. Fiînd din această cauză neaplica-

bilă în practica de laborator, ea a fost înlocuită printr-o metodă relativă, în care se determină concentrația soluției colorate, în raport cu o soluție etalon a cărei concentrație este cunoscută. Pentru aceasta, se trece un fascicul luminos prin două medii care conțin aceeași substanță colorată, în același solvent și în aceleași condiții de lucru, însă de concentrații c_1 și c_2 diferite, și facem să varieze lungimea coloanei de lichid prin care trece lumina pînă ce intensitatea razei de lumină la ieșire este aceeași: $I_1 = I_2$.

Folosind formula lui Lambert-Beer pentru ambele soluții vom avea:

$$I_1 = I_0 e^{hc_1 l_1}$$

și

$$I_2 = I_0 e^{hc_2 l_2}$$

și cum noi am făcut să varieze intensitatea luminii la ieșire astfel încît să avem $I_1 = I_2$, vom avea, după reducerile posibile

$$c_1 l_1 = c_2 l_2$$

de unde:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Această formulă arată că concentrațiile soluțiilor colorate sînt invers proporționale cu lungimile coloanelor de soluție colorată străbătute de raza de lumină, care are la ieșire aceeași culoare. Pentru concretizarea ideilor, se poate da exemplul intuitiv următor: dacă culoarea soluției este dată de moleculele substanței colorate, atunci, pentru ca o soluție, de exemplu de 10 % iod în sulfură de carbon, să aibă o culoare la fel cu o soluție de iod 20% în sulfură de carbon, cantitatea de soluție prin care trebuie să treacă lumina, adică lungimea coloanei de lichid, trebuie să fie, la soluția de 20%, de două ori mai mică decît la cea de 10%, căci numai astfel raza de lumină va întîlni aceeași cantitate de substanță colorată în ambele cazuri.

Folosind o soluție etalon, de concentrație c_1 cunoscută, putem determina concentrația c_2 din expresia:

$$c_2 = \frac{c_1 l_1}{l_2}$$

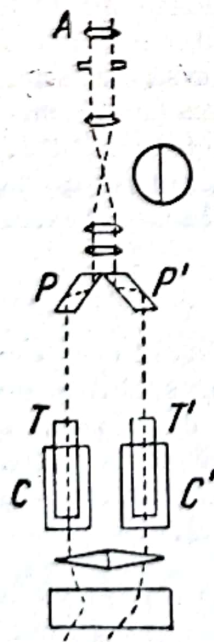


Fig. 257 — Colorimetrul Duboscq (schemă).

În practică, aceasta se face aducînd soluția de cercetat la culoarea etalonului, fie prin adăugare de solvent în cantitate cunoscută și comparînd prin diferite procedee (operație simplă, dar mai puțin rapidă), fie scurtînd sau lungînd coloana de soluție prin care trece raza de lumină, pînă ce capătă culoarea etalonului.

Această din urmă metodă este mai precisă. Pe principiul acestei metode sînt construite colorimetrele de laborator medical, colorimetrul Duboscq, colorimetrul Donnan, colorimetrul Pulfrich, colorimetrul fotoelectric etc.

a) Colorimetrul Duboscq (fig. 257) permite efectuarea rapidă a măsurătorilor după principiul expus mai sus, al proporționalității inverse dintre concentrație și lungimea coloanei colorate. Acest colorimetru se compune din două vase cilindrice verticale de sticlă în care se introduc cele două lichide: etalonul și lichidul de examinat. Coloana de lichid colorat se scurtează sau se lungeste introducînd mai

mult sau mai puțin, în fiecare din aceste vase, câte o baghetă cilindrică sau prismatică de sticlă foarte curată și omogenă. Cilindrii de sticlă cu lichid sint așezați pe suporti mobili care pot fi ridicați și coboriți cu ajutorul unor vize micrometrice astfel încât înălțimile coloanelor de lichid aflate sub baghetele de sticlă să fie variabile și să se poată măsura pe o scară gradată (cu vernier).

Sistemul optic este format dintr-o lentilă prin care vin prin două serii de prisme cu reflecție totală imaginile ambelor coloane colorate văzute în lungime. Cîmpul ocularului este împărțit în două semicîmpuri, fiecare avînd culoarea cilindrului cu substanța respectivă. Prin manevrarea celor două șuruburi micrometrice se obțin cele două semicîmpuri colorate la fel. În acel moment, înălțimea coloanelor de lichid de sub fiecare din baghetele de sticlă este în raport invers cu concentrațiile și se poate calcula concentrația c_2 din expresia arătată mai înainte.

Lumina este adusă în aparat printr-o oglindă plană sau o placă de porțelan albă-mată, înclinată de un unghi potrivit.

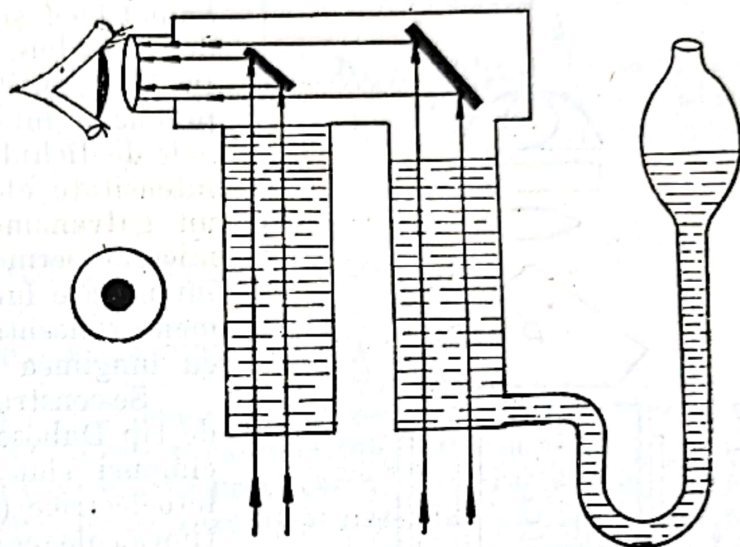


Fig. 258 — Colorimetrul Donnan.

b) **Colorimetrul Donnan** realizează coloana de lichid colorat de înălțime variabilă printr-un dispozitiv format din două vase comunicante (fig. 258) puse în legătură printr-un tub flexibil. Atît ramura cuprinzînd soluția etalon, cît și cea pe care o lungim sau o scurtăm ridicînd sau coborînd vasul cu ajutorul tubului flexibil, dau prin cîte o oglindă circulară, înclinată de 45° , imagini colorate, care se privesc printr-un ocular. Oglinda etalonului este mai mică, iar cea a substanței de examinat este mai mare; ele sint așezate astfel încît imaginile să formeze două cercuri concentrice; se poate astfel compara mai bine intensitatea celor două imagini. Manevrînd coloana de lichid colorat de examinat, astfel ca cercul interior să fie de aceeași culoare ca și coroana din jur, vom ști că în acel moment avem în ambele coloane dizolvată aceeași cantitate de substanță colorată; concentrațiile vor fi deci invers proporționale cu lungimile coloanelor. La lichidul etalon, lungimea coloanei de lichid este cunoscută, iar la soluția de analizat se citește pe gradațiile tubului.

Trebuie arătat că, atît la aceste aparate, cît și la altele, construite pe același principiu, legea lui Lambert-Beer nu se verifică decît dacă dizolvaree și diluarea substanței colorate nu schimbă natura acestei substanțe. Legea nu se aplică deci soluțiilor saline parțial disociate, decît atunci cînd molecula nedisociată are aceeași culoare ca ionii colorați respectivi, cum este cazul permanganatului de potasiu. De aceea, în laborator se caută ca etalonul să aibă pe cît posibil concentrația vecină cu cea a soluției de cercetat.

Pentru precizia determinării, se repetă operația de aducere la culoarea egală de cîteva ori și se face media aritmetică a citirilor.

3. COLORIMETRIE OBIECTIVĂ

Toate aceste determinări sînt subiective. Chiar făcînd mai multe determinări, încă putem face erori la aprecierea egalității intensității luminii care a traversat cele două coloane de lichid colorat, adică a egalității culorii celor două semicîmpuri ale aparatului.

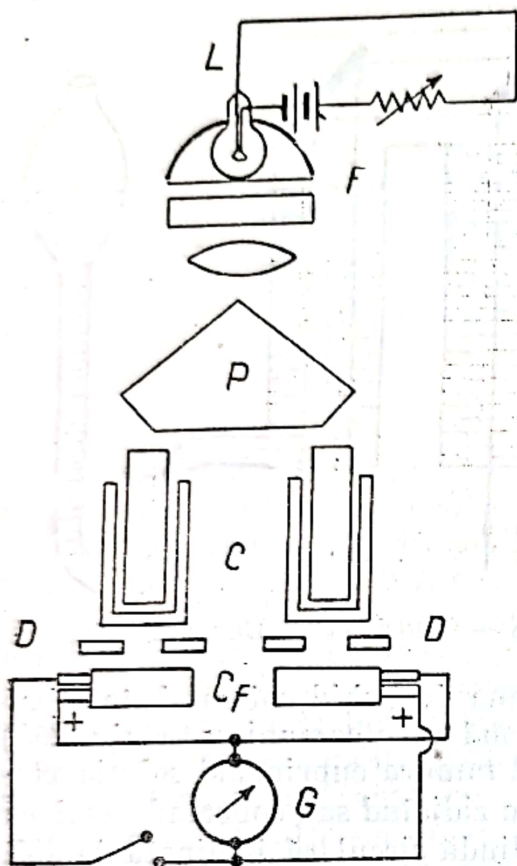
Colorimetria a devenit obiectivă prin folosirea celulei fotoelectrice. Cu ajutorul celulei fotoelectrice se pot face determinări absolute, fiindcă se pot

măsura I_0 și I după criteriile fotometrice. Se pot face și determinări relative față de un etalon, măsurînd pe cale fotoelectrică intensitatea curentului electric produs de lumina care a străbătut coloanele de lichid colorat; cînd vom avea o intensitate electrică egală, măsurată la un galvanometru (miliampermetru sau microampermetru), vom ști că avem și intensitate luminoasă egală; în acel moment, concentrațiile sînt în raport invers cu lungimea coloanelor de lichid.

Se construiesc în prezent colorimetre de tip Duboscq la care cele două semicîmpuri sînt „privite” de două celule fotoelectrice (fig. 259); se variază înălțimea coloanei lichidului de cercetat pînă cînd cei doi curenți produși de cele două fotocelule C_f au aceeași valoare.

Toate acestea verifică faptul menționat: colorimetria este un caz particular al fotometriei.

Colorimetria este folosită pentru diferite dozări curente în clinică, pentru dozajul oxihemoglobinei în sînge etc.



L—izvorul luminos; F—filtru; P—prismă cu reflecție totală; C—cilindri de sticlă; — diafragme; C_f —celule fotoelectrice; G—galvanometru.

Fig. 259 — Colorimetru obiectiv (tip Duboscq) cu două celule fotoelectrice.

III. OPTICA GEOMETRICĂ

Optica a fost divizată, pentru ușurința studiului și datorită unor caractere diferențiale ale fenomenelor, în mai multe capitole mari: optica geometrică, optica fizică, optica fiziologică, optica cuantică etc.

În antichitate, filozofii materialişti au considerat ca o proprietate fundamentală a luminii propagarea ei în linie dreaptă. Încă din acea vreme erau cunoscute legile reflecției și refracției. Aceste fenomene se pot demonstra ușor cu ajutorul construcțiilor geometrice. De aceea ele au fost cuprinse într-un capitol deosebit, intitulat „Optica geometrică”.

În prezent, teoria elementară a aparatelor optice folosite curent în laborator și în clinică, ca și a celor din alte domenii de cercetare și măsurare optică, se bazează în cea mai mare parte pe legile opticii geometrice. În studiul modern al fenomenelor de optică geometrică trebuie să se țină seama de iluminarea și de strălucirea obiectului și a imaginii, adică de elementele de fotometrie; de asemenea trebuie să se țină seama de rolul fenomenelor de interferență și de difracție a luminii care fixează o limită de aplicare a propagării rectilinii a luminii.

Aparatele care funcționează pe baza principiilor de optică geometrică servesc pentru diferite scopuri: să împlinescă lipsurile ochiului în studierea obiectului (microscopul), să dea imagini reale ale obiectelor (aparatele de proiecție), să concentreze razele de lumină în anumite puncte (condensatoare etc.).

În optica geometrică se folosesc pentru reflecție și refracție suprafețe plane sau sferice, deoarece realizarea unor suprafețe de alte forme este mai grea. Ca material transparent se folosește sticla de diferite feluri, de fabricație omogenă. De multe ori se utilizează și cristale: fluorina, spatul de Islanda, cuarțul, turmalina.

Importanța practică a aparatelor optice este foarte mare: tehnica optică de laborator, tehnica măsurătorilor de precizie, controlul diferitelor piese fabricate, fotografia, diferitele aparate folosite de armată și corectarea vederii sînt bazate pe sisteme optice.

A. LEGILE OPTICII GEOMETRICE

1. PROPAGAREA RECTILINIE A LUMINII

Experiența arată că în medii omogene, izotrope, pe distanțe relativ mici (dacă izvorul de lumină nu este prea depărtat), lumina se propagă în linie dreaptă. Direcția după care se face propagarea luminii se numește rază de lumină, iar în practică mai multe raze alcătuiesc un fascicul luminos. Fasciculul poate fi paralel, cum este cel care pornește de la izvoare de lumină foarte depărtate (Soarele), convergent sau divergent.

a) **Legea propagării rectilinii a luminii** se poate verifica făcînd o proiecție într-o cameră întunecoasă, cu ajutorul unei lămpi cu o deschidere foarte mică. Pulberile din cameră care devin luminoase (efectul Tyndall) pun în evidență fasciculul luminos pe care-l vedem ca o linie dreaptă.

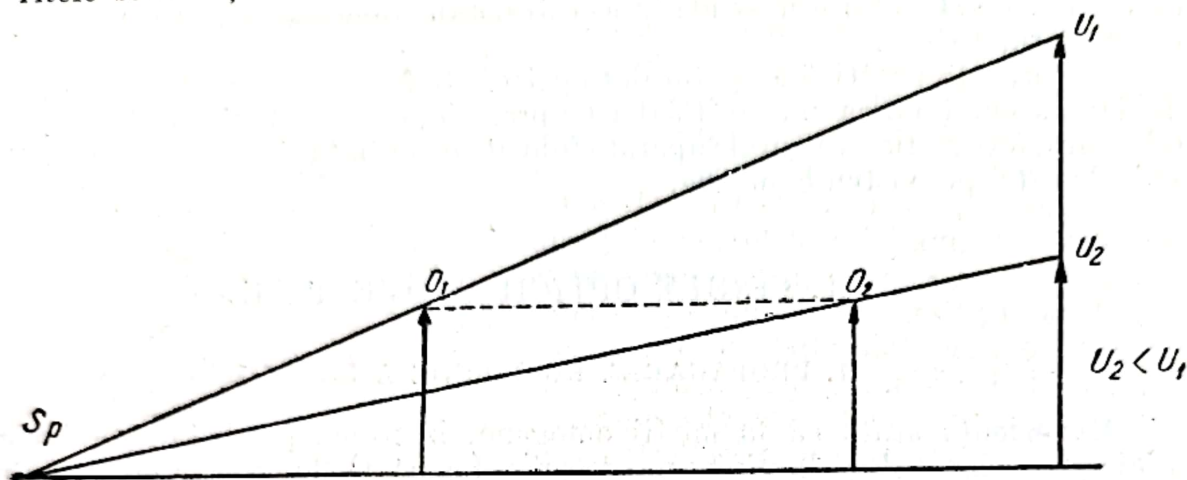
Propagarea rectilinie a luminii se face numai în medii omogene, cum vom vedea la tratarea legilor următoare; de asemenea, mediul trebuie să fie transparent.

În adevăr, în ce privește trecerea luminii, corpurile sînt de trei feluri: opace, translucide și transparente. Aceste calități ale corpurilor nu sînt specifice materiei din care este făcut corpul, ci depind și de alți factori. Astfel, o foiță de cupru foarte subțire (de grosime sub un micron) este transparentă, în timp ce o placă de sticlă foarte groasă este translucidă și uneori chiar opacă.

b) **Umbre.** Propagarea rectilinie a luminii reiese mai evident cînd un fascicul luminos foarte subțire întilnește un corp opac; acest corp aruncă o umbră. Dacă izvorul de lumină este punctiform (ceea ce practic nu se poate realiza, dar se pot da izvorului dimensiuni foarte mici), umbra are forme nete, tăioase. În cazul unui obiect opac, umbra alcătuită din razele tangente la corpul opac este cu atît mai mare cu cît obiectul este mai apropiat de izvorul luminos; mărimea umbrei se apropie de mărimea obiectului cînd acesta este aplicat chiar pe ecranul pe care se proiectează umbra (fig. 260).

c) **Penumbre.** Pe de altă parte, dacă izvorul de lumină are dimensiuni apreciabile, fiecare punct al lui produce pentru același punct opac o umbră; toate aceste umbre se suprapun numai parțial. Regiunea de suprapunere constituie umbră, iar regiunea care constituie umbra unora din punctele luminoase, dar este luminată de alte puncte luminoase, are deci o umbră mai slabă, care se numește penumbră (fig. 261).

O aplicație a felului cum trebuie să minuiim izvorul, obiectul și ecranul pentru a obține umbrele de care avem nevoie, o întâlnim în radiologie. Atât pentru radioscopie, cât și pentru radiografie, umbrele trebuie să fie de mărime cât mai apropiată de a corpului pe care trebuie să-l examinăm; de aceea, bolnavul este totdeauna așezat foarte aproape de ecranul fluorescent (pentru radioscopie) sau de placa radiografică (pentru radiografie), iar nu de tubul Röntgen. Pe de altă parte, absorbția diferită a razelor Röntgen de către diferitele substanțe determină o imagine alcătuită din umbre mai puternice



Sp — izvor punctiform.

Fig. 260 — Umbra obiectului la distanțe diferite de ecran:

pentru corpurile cu putere de absorbție mai mare (cele cu greutate atomică și moleculară mai mare) și luate în strat mai gros, și umbre mai slabe pentru celelalte. În acest caz, dacă, pentru examinarea unui braț în care s-a oprit un glonț de oțel sau de plumb, facem radiografia, vom găsi o umbră foarte întunecată pe radiografia pozitivă pentru glonț, o umbră mai slabă pentru osul brațului, care este alcătuit din fosfat de calciu, carbonați, fluoruri etc., și o umbră foarte slabă pentru partea cărnosă a mâinii, care nu absoarbe decît foarte puțin razele Röntgen.

Dacă însă, în loc de a avea un izvor punctiform de raze Röntgen care să dea imaginea pe care am descris-o schematic, folosim un izvor de dimensiuni mari, atunci pentru fiecare din cele trei categorii de umbre vom avea cîte o penumbră, ceea ce ar împiedica o justă interpretare a radiografiei. Cu atât mai mult în radiografiile pulmonare, ale inimii etc., unde umbrele sînt foarte slabe, penumbrele create artificial, din cauza fasciculului de raze de diametru mare, ar ridica piedici greu de învins.

Examinarea umbrelor este folosită și în alte metode de diagnostic. Forma umbrei se poate urmări și prin medii translucide.

Țesuturile vii nu sînt, în general, transparente pentru lumina obișnuită. Printr-o iluminare puternică se pot însă observa umbrele în medii translucide sau se poate recunoaște transluciditatea mai mică sau mai mare a unei anumite regiuni. Introducînd un bec electric mic, dar puternic, în interiorul gurii, se poate recunoaște dacă sinusurile maxilare sînt translucide sau nu și, deci, dacă sînt goale sau conțin o substanță opacă.

Examenul translucidității țesuturilor poate aduce mari servicii în diagnostic, dar cere o interpretare justă a fenomenelor observate. Astfel, un corp opac poate scăpa observației dacă se află într-un țesut translucid, însă așezat aproape de sursa luminoasă. Un exemplu clasic îl constituie examinarea prin

transparență a hidrocelului: testiculul nu se vede totdeauna. Dacă lumina vine de la stînga la dreapta, ca în fig. 262, suprafața stîngă a scrotului este iluminată, ea difuzează lumina în toate direcțiile și pentru ochiul examinatorului, așezat în partea dreaptă a figurii, devine o adevărată sursă de lumină. Dacă testiculul nu este destul de apropiat de peretele drept al scrotului, el nu proiectează o umbră, și deci nu este văzut; pentru ca să apară vizibil, trebuie, ori ca suprafața de iluminare din partea stîngă să devină destul de mică, ori ca testiculul să se deplaseze spre dreapta. Și în acest caz se confirmă

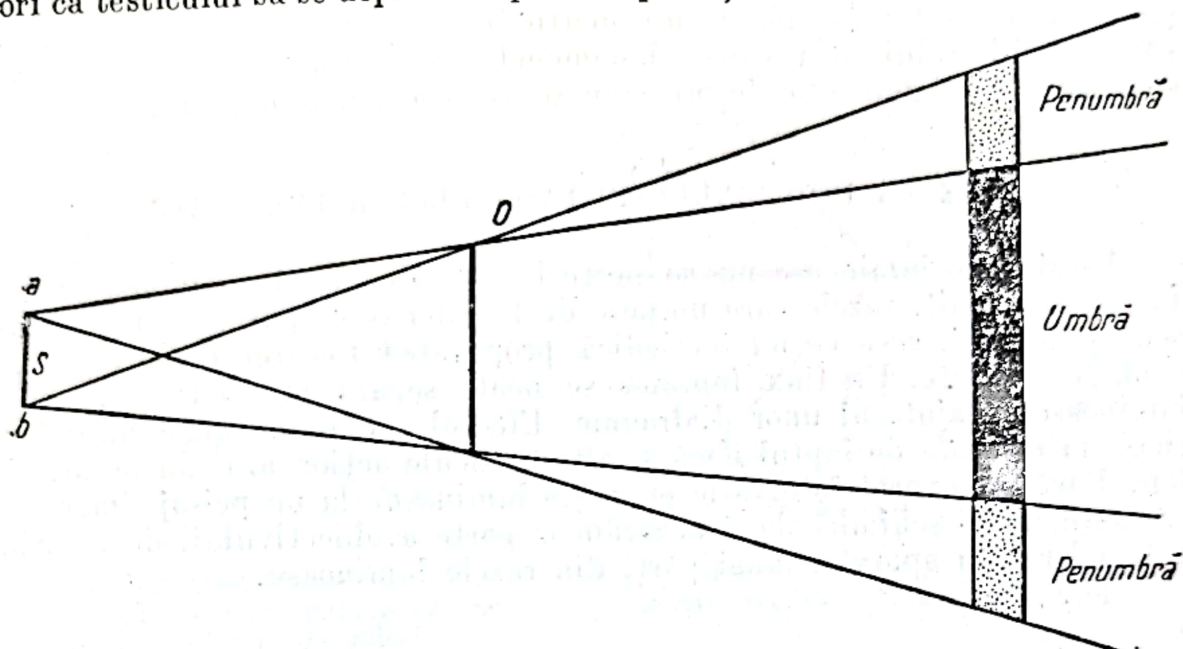


Fig. 261 — Umbră și penumbră.

necesitatea unui izvor luminos de diametru cît mai mic sau a apropierii obiectului cît mai mult de peretele pe care vrem să examinăm umbra formată.

În general, forma umbrei pe un ecran corespunde cu forma proiecției geometrice obținute cu ajutorul unui fascicul de drepte care ar porni dintr-un centru de proiecție situat în locul unde se află izvorul de lumină.

Tot așa cum dreapta geometrică poate fi reproducă printr-un fir bine întins, cînd distanțele nu sînt foarte mari, propagarea rectilinie a luminii face ca linia dreaptă să se identifice cu direcția de propagare a luminii într-un mediu omogen.

Însăși nașterea liniei drepte trebuie să fie legată de observarea propagării rectilinii a luminii. Controlul formeii rectilinii a unui obiect cu ajutorul „razelor vizuale” a fost practicat din vremuri foarte vechi, la marile construcții din China, India, Mesopotamia, Egipt.

Propagarea rectilinie a luminii mai poate fi demonstrată cu ajutorul camerei obscure, cunoscute încă din secolul al XVI-lea. Prin deschiderea făcută în unul din pereți intră fasciculele luminoase care vin din toate punctele luminoase ale unui obiect situat în afara camerei obscure. Aceste fascicule își continuă drumul lor în linie dreaptă, dar, încrucișându-se în ori-

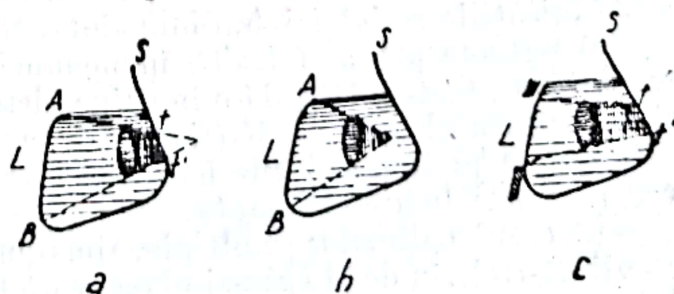


Fig. 262 — Examinarea scrotului prin semitransparență.

ficiu, dau pe peretele interior al camerei obscure o imagine răsturnată a obiectului luminos.

Trebuie să arătăm că legea propagării rectilinii a luminii are o valabilitate limitată. Astfel, teoria relativității a arătat că, într-un spațiu ale cărui dimensiuni sînt foarte mari (în astronomie), distanța cea mai scurtă dintre două puncte nu este o linie dreaptă, și nici lumina nu se propagă rectiliniu.

De asemenea, dacă fasciculul luminos trece printr-o deschidere foarte mică, de ordinul sutimilor de milimetru, nu se obține o imagine asemănătoare obiectului, din cauza fenomenelor de difracție, de ocolire, de propagare în linie frîntă despre care se va vorbi mai departe.

2. LEGEA INDEPENDENȚEI FASCICULELOR LUMINOASE

Fasciculele luminoase nu se perturbă reciproc cînd se intersectează. În mod obișnuit, razele care pornesc de la diferite corpuri se întretaie de nenumărate ori, ceea ce nu împiedică propagarea fiecărei raze independent de celelalte. Un flux luminos se poate separa în diferite fascicule luminoase cu ajutorul unor diafragme. Efectul produs de un anumit fascicul nu depinde de faptul dacă și alte fascicule acționează sau nu simultan. Dacă un aparat fotografic primește lumina de la un peisaj, imaginea obținută nu se schimbă dacă obturăm o parte a obiectivului, deci oprim pătrunderea în aparat a unei părți din razele luminoase.

3. REFLECȚIA LUMINII

Fenomenul de schimbare de drum a unei raze de lumină, cînd întâlnește o suprafață lucie de separare a două medii, se numește reflecție. După reflecție, raza reflectată se propagă în același mediu în care se află și raza incidentă. Legea experimentală a reflecției luminii este amintită în „Optica” lui Euclid (306 — 283 î.e.n.). Stabilirea ei este legată de folosirea empirică, din vremurile cele mai îndepărtate, a suprafețelor metalice lucii pentru oglindire, a oglinzirii în apele liniștite, în geamuri etc.

a) **Legea reflecției luminii** se enunță astfel: 1) unghiul de incidență i este egal cu unghiul de reflecție r ; 2) raza incidentă, cea reflectată și normala (perpendiculara pe oglindă în punctul de incidență) se află în același plan; 3) cele două raze sînt reversibile: dacă îndreptăm raza incidentă în direcția celei reflectate, ea se reflectă în direcția fostei raze incidente. Acest din urmă fenomen al posibilității de a așeza obiectul luminos în locul imaginii și a obține imaginea în locul obiectului se mai numește și principiul reîntoarcerii razei de lumină.

Aplicațiile reflecției luminii sînt oglinzile plane și curbe.

b) **Oglinda plană**, folosită în nenumărate aparate de laborator, ca și în viața de toate zilele, dă o imagine virtuală M_1 , simetrică, la fel de mare și dreaptă, a obiectului M (fig. 263). Imaginea virtuală o vedem înapoia oglinzii, în prelungirea razelor reflectate, ochiul nostru fiind obișnuit a vedea numai în linie dreaptă.

În cazul oglinzilor multiple, imaginile se formează după anumite reguli. Astfel, în două oglinzi plane, care formează între ele un unghi variabil α , avem un număr variabil de imagini. Dacă cele două oglinzi fac între ele un unghi diedru de 90° , avem trei imagini; dacă oglinzile sînt

la 60° , avem 5 imagini, la 45° avem 7 imagini (fig. 264), la 120° avem 2 imagini. Numărul de imagini se poate calcula după formula

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1,$$

unde α = unghiul variabil dintre cele două oglinzi.

În cazul unor oglinzi paralele, numărul imaginilor este teoretic infinit. Din cauza fenomenului de absorbție, obținem numai câteva zeci de imagini, din ce în ce mai slabe.

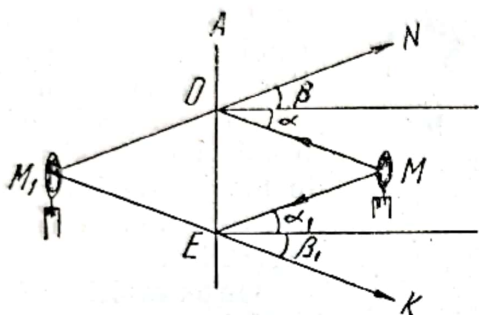


Fig. 263—Imaginea M_1 a obiectului M este dreaptă, virtuală, egală în mărime și simetrică față de obiect.

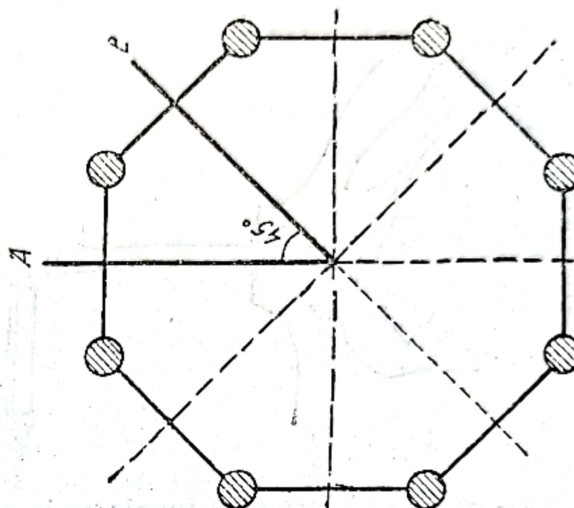


Fig. 264 — Imaginea în două oglinzi plane care fac între ele un unghi de 45° .

Oglinzile plane, simple sau multiple, au numeroase aplicații, printre care și cele de laborator. Aparatele de cercetare, microscopul, colorimetrele etc., au de multe ori oglinzi plane care aduc prin reflecție lumina de la izvorul luminos în câmpul optic al aparatului.

c) **Endoscopia.** O aplicație medicală curentă a oglinzilor plane este folosirea lor la explorarea unor cavități ale corpului, care au un orificiu de comunicare cu exteriorul.

Metoda se numește endoscopie (*endon* = înăuntru, *skopein* = a examina), iar aparatul folosit se numește endoscop.

Procedeele folosite în cadrul acestei metode sînt numeroase, după natura cavității și a posibilităților de examinare indirectă. O primă condiție pentru a putea examina interiorul unei cavități este iluminarea ei. Aceasta se poate face trimițînd un fascicul luminos din afară, prin reflecție, în regiunea pe care o examinăm; procedeul se numește endoscopie cu iluminare externă. Un alt procedeu folosește iluminatul interior, introducînd o dată cu endoscopul și sursa de lumină în interiorul cavității pe care o luminează, pentru a putea fi examinată. Aparatele din această categorie se numesc cu iluminare internă.

Dintre endoscoapele cu lumină externă este redat în fig. 265 un uretoscop, compus dintr-o sondă S , o lampă electrică cu incandescență L și un sistem optic A , care cuprinde o oglindă plană m , perforată la mijloc.

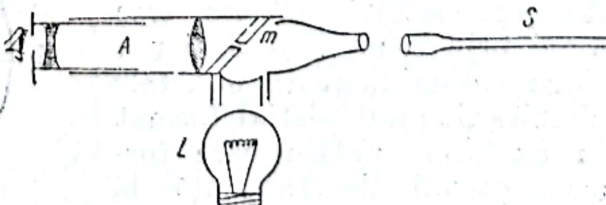


Fig. 265 — Uretoscop cu iluminare exterioară.

Lumina trimisă de lampa L se reflectă în oglinda m și este trimisă în uretră, iar examinarea se face prin sistemul optic, care apropie imaginea fără să o mărească. În unele cazuri, sistemul optic poate fi îndepărtat, și examenul se face privind cu ochiul direct prin deschiderea circulară a oglinzii.

Un endoscop utilizat la examinarea vezicii este cistoscopul. La acest aparat se întrebuițează iluminarea internă. Cistoscopul este o sondă care are o regiune curbată spre extremitatea ce pătrunde în vezică și un sistem de oglinzi care aduce imaginea pînă la ochiul observatorului. O lampă

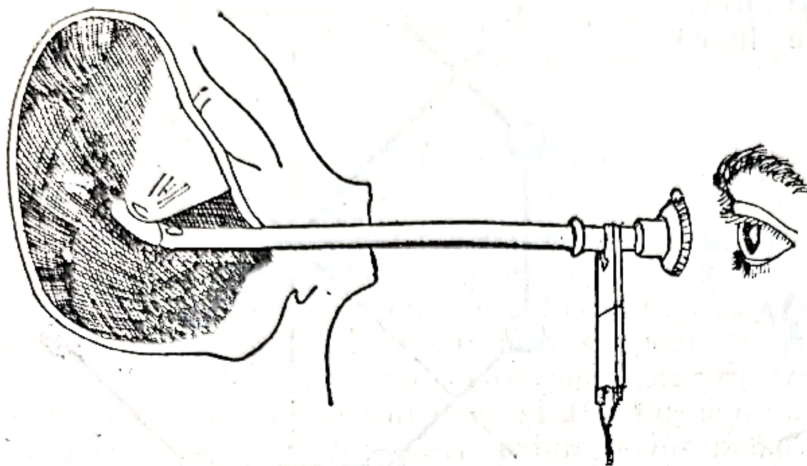


Fig. 266 — Cistoscop cu iluminare interioară.

electrică foarte mică se află în partea extremă a sondei, fie în partea convexă, fie în cea concavă, și poate astfel ilumina pereții vezicii. În locul oglinzilor se află o mică prismă cu reflecție totală, iar un sistem de lentile dă imagini mai ușor de examinat (fig. 266).

Observațiile se fac destinzînd uneori ușor pereții vezicii prin in-

troducerea unui lichid transparent și întrebuițînd, după regiunea de explorat, cistoscoape de curbură diferite.

Stomacul se examinează introducînd în acest organ un endoscop care are la extremitatea sa o lampă electrică ce luminează regiunea de examinat.

Procedeul se numește gastroscopie și este similar celor descrise anterior. În afară de gastroscopie se mai întrebuițează un procedeu de explorare a mucoasei gastrice, care permite, cu ajutorul unor oglinzi, obținerea unei imagini fotografice a acestei mucoase. Procedeul este cunoscut sub numele de gastrofotografie, și permite studierea mucoasei pe fotografie.

Sistemele optice au fost mereu perfecționate în endoscopie, dar principiul acestor aparate este același. Unele din ele au la extremitate diferite aparate, anse galvanice, clești, care permit anumite mici operații fără a se recurge la deschidere.

d) **Oglinda sferică.** Oglinzile sferice fac parte dintr-o sferă: ele sînt calote sferice. Dacă ele reflectă cu suprafața interioară, se numesc oglinzi concave și sînt convergente, iar dacă reflectă cu suprafața exterioară, ele se numesc oglinzi convexe și sînt divergente.

Oglinda sferică concavă are cîteva elemente principale (fig. 267): centrul geometric C al oglinzii, adică centrul sferei din care face parte oglinda, vîrful S al ei sau mijlocul oglinzii, axa principală Ap care trece prin cele două puncte C și S , și nenumărate axe secundare care trec numai prin centru, și deci pot atinge sau nu unele din punctele oglinzii. Unghiul spațial format din axele secundare care formează conul de tangență la marginile oglinzii (vîrful lui fiind în centrul C) se numește deschi-

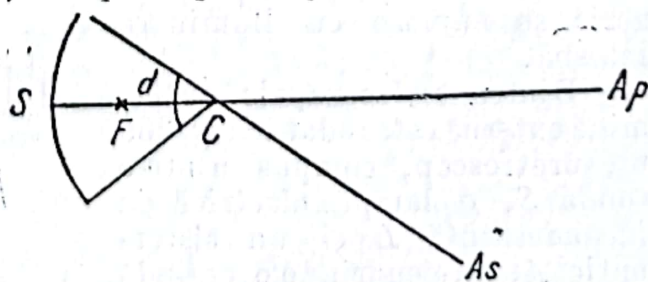


Fig. 267 — Elementele unei oglinzi concave.

derea d a oglinzii. Aproximativ la jumătatea distanței dintre S și C se află, la oglinzile cu rază de curbura mare, punctul numit focar. Prin acest punct trec, după reflecție, toate razele care vin de la infinit și sînt reflectate de oglindă. La oglinzile cu rază de curbura mai mică se constată că intersecția razelor reflectate, venite de la infinit, nu mai este un punct, ci constituie o suprafață, așa că avem o suprafață focală. Formată din focare secundare, această suprafață este sferică și are centrul în F , avînd o rază f . În practică, această suprafață poate fi confundată cu un plan tangent la această suprafață în punctul F și normal pe axul principal; acest plan poartă numele de plan focal.

În oglinda concavă, imaginea unui obiect aflat la infinit se formează în planul focal. Imaginea este inversată, foarte mică și reală. Pe măsură ce obiectul vine de la

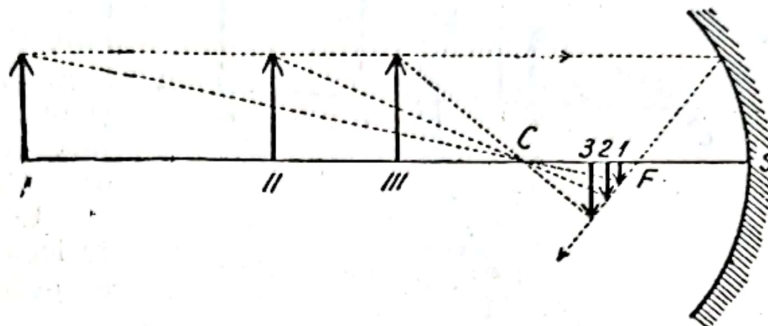


Fig. 268 — Când obiectul vine de la infinit spre centru, imaginea vine din focar spre centru.

la infinit spre centrul oglinzii, în aceeași măsură imaginea crește, se deplasează din focar spre centru, depărtîndu-se de oglindă (fig. 268). Când obiectul ajunge în centru, imaginea a ajuns și ea în centrul oglinzii și este egală în mărime cu obiectul. Dacă obiectul trece de centru, apropiindu-se de oglindă, imaginea depășește centrul, depărtîndu-se de oglindă și devenind din ce în ce mai mare; imaginea rămîne tot timpul inversată și reală (fig. 269). Această relație dintre obiect și imagine continuă pînă ce obiectul ajunge în focar. În acest moment, imaginea se formează la infinit, este foarte mare, inversată și reală.

Se constată astfel o permanentă reciprocitate de poziții și mărimi. Punctele în care imaginea poate înlocui obiectul se numesc puncte conjugate. Astfel, focarul și infinitul sînt puncte conjugate, centrul este conjugat cu el însuși etc.

D cîndată ce obiectul a trecut dincolo de focar spre oglindă, pe o distanță cît de neînsemnată, se produce o schimbare bruscă în calitatea imaginii: aceasta devine virtuală și dreaptă și, pe măsură ce obiectul se apropie de oglindă, imaginea virtuală, dreaptă și mai mare, se apropie și ea de oglindă. În momentul cînd obiectul a atins oglinda (și dacă obiectul este destul de mic și curbura oglinzii destul de mică pentru ca obiectul să se poată alipi de oglindă ca de un plan), imaginea are aproape mărimea obiectului (fig. 270).

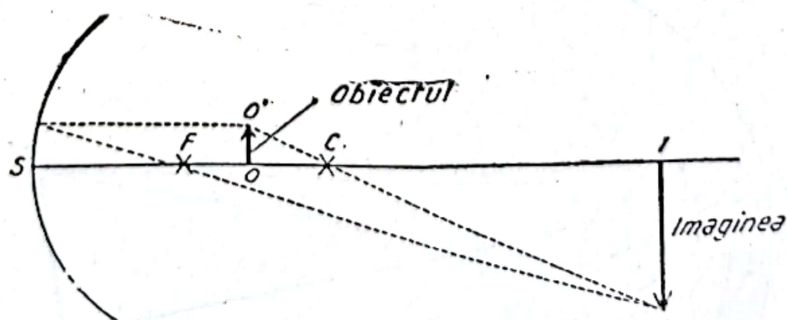


Fig. 269 — Obiectul între focar și centru dă o imagine reală, inversă și mărită.

În rezumat, în oglinzile convergente avem două feluri de imagini: reale, pentru orice poziție a obiectului dincolo de focar, mai mari sau mai mici, după cum obiectul este între focar și centru, sau între centru și infinit; vir-

tuale, pentru toate pozițiile obiectului între focar și oglindă. Imaginile virtuale nu se pot proiecta, ele se pot vedea ca într-o oglindă plană, sint mai mari și drepte.

Raportul dintre mărimea O a obiectului și mărimea I a imaginii are, la o oglindă concavă, valoarea

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p} \quad (1)$$

asa precum reiese din triunghiurile asemenea $OO'S$ și $II'S$ (fig. 271), formate de imagine și obiect (p' este distanța de la imagine la vârful oglinzii, iar p distanța de la obiect la punctul S).

Considerind mărimile I și O în legătură cu distanța focală f a oglinzii, vom avea același raport $\frac{I}{O}$ exprimat în modul următor (fig. 272):

$$\frac{I}{O} = \frac{p - f}{f} \quad (2)$$

Din relațiile (1) și (2), care au pe $\frac{I}{O}$ comun, reiese că :

$$\frac{p'}{p} = \frac{p - f}{f},$$

de unde

$$\frac{p'}{p} = \frac{p'}{f} - 1;$$

împărțind cu p' obținem:

$$\frac{p'}{pp'} = \frac{p'}{fp'} - \frac{1}{p'},$$

de unde

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Relația (3) se numește formula oglinzilor curbe și servește la determinarea unuia din elemente, dacă celelalte sînt cunoscute. La fel expresiile (1) și (2) servesc la determinarea, fie a mărimii imaginii, fie a obiectului sau a uneia din distanțele p , p' sau f , dacă celelalte sînt cunoscute.

Oglinda sferică convexă, divergentă, are

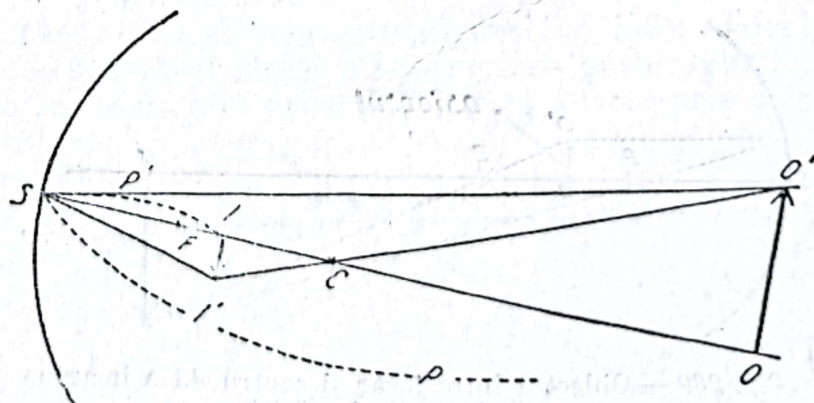


Fig. 271 — Relațiile de mărime dintre obiect și imagine.

aceleași elemente ca oglinda concavă, însă centrul, focarul și distanța p' de la imagine la vârful oglinzii se află în interiorul sferei, deci în partea virtuală; li se atribuie de aceea în calcule și în formulă semnul minus.

Imaginea se construiește geometric, așa cum se arată în fig. 273. Imaginea în oglinda convexă este de un singur fel: virtuală, mai mică și dreaptă față de obiect; ea crește în mărime pe măsură ce obiectul se apropie de oglindă. Dacă oglinda convexă are raza de curbura foarte mare și dacă obiectul este destul de mic pentru ca să se poată considera lipit de oglindă, care să fie considerată plană pe o porțiune destul de mică, atunci imaginea este practic de aceeași mărime cu obiectul.

Distanța focală f și distanța p' a imaginii față de vârful oglinzii fiind virtuale, li se atribuie semnul minus, așa că formula oglinzii convexe devine

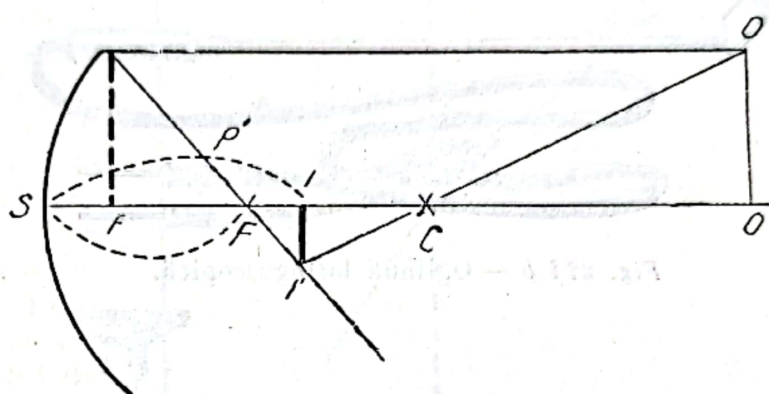


Fig. 272 — Construcție geometrică pentru stabilirea formulei oglinzilor sferice.

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f},$$

sau, schimbând semnele

$$-\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}.$$

Aplicațiile oglinzilor sferice concave și convexe. Aceste oglinzi au numeroase aplicații în aparatura de laborator, în clinică și în tehnică.

Oglinzile care converg razele de lumină spre lama de microscop, spre polarimetru sau colorimetru sînt oglinzi concave. Oglinda stomatologică cu care se privește în partea posterioară a dinților este o oglindă concavă, care, fiind ținută foarte aproape de obiect, dă o imagine virtuală, mai mare și dreaptă, și deci permite observarea mai amănunțită a regiunii dinapoia dinților.

În oto-rino-laringologie este mult folosită oglinda frontală, care

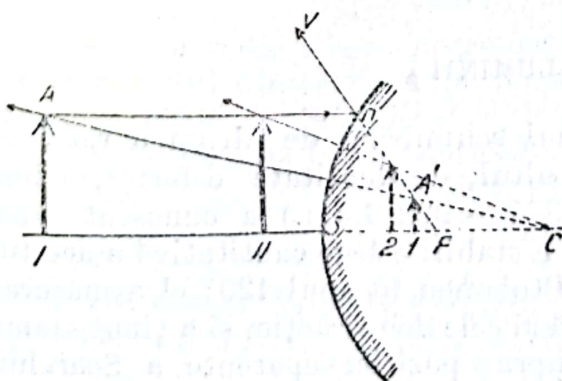


Fig. 273 — Imaginea în oglindă convexă.

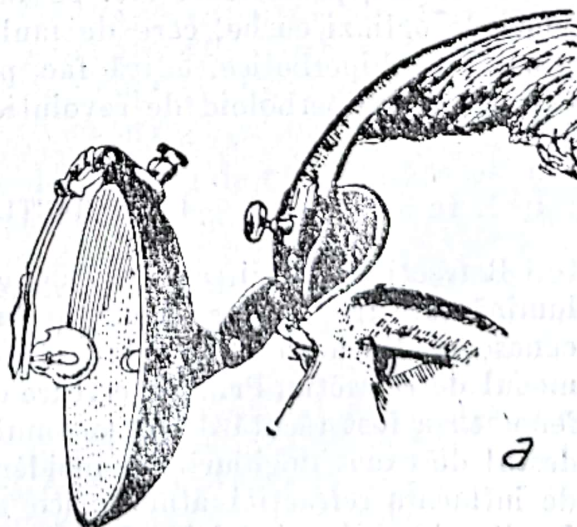


Fig. 274 a — Oglindă laringoscopică frontală.

primește lumină de la un bec electric așezat în mod convenabil și concentrează lumina asupra regiunii de examinat: fundul gîtului sau conductul auditiv extern (fig. 274 a).

Uneori oglinda concavă servește numai să concentreze lumina zilei sau a lămpii din cameră asupra regiunii, iar deschiderea din centrul ei permite privirea prin oglindă în regiunea de observat.

Pentru examinarea laringelui se introduce în gură o mică oglindă,

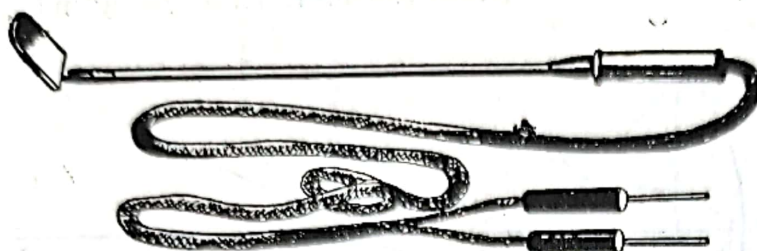


Fig. 274 b — Oglindă laringoscopică.

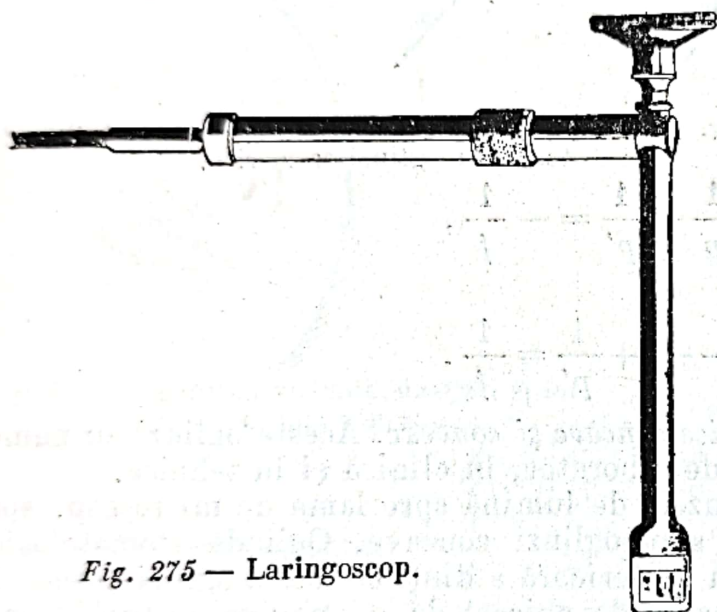


Fig. 275 — Laringoscop.

numită oglindă laringoscopică, aflată la capătul unei tije metalice (fig. 274 b). Dînd oglinzii frontale și oglinzii laringoscopice direcții convenabile, se poate obține o iluminare vie a cordelor vocale și se poate vedea imaginea lor în oglinda laringoscopică. În fig. 275 este redată schema unui laringoscop.

În oftalmologie se întrebunțează asemenea oglinzi convergente perforate pentru examinarea fundului de ochi.

În aparatele de proiectat diafilme, în epidiascoapele folosite în sălile de cursuri sau de conferințe, în aparatele cinematografice, oglinzile concave concentrează lumina sursei asupra obiectului care trebuie proiectat.

În faruri, proiectoare etc. se întrebunțează de asemenea numeroase feluri de oglinzi curbe, care de multe ori nu sînt sferice, ci parabolice, elipsoidale, hiperbolice, adică fac parte geometric dintr-un paraboloid, elipsoid sau hiperboloid de revoluție.

4. REFRAȚIA LUMINII

Refracția luminii, adică fenomenul schimbării de drum a razei de lumină care trece dintr-un mediu în altul, de densitate diferită, a fost cunoscută din antichitate. Aristotel (384 — 322 î.e.n.) a cunoscut fenomenul de refracție. Prima încercare de a stabili o lege cantitativă a acestui fenomen a fost făcută de astronomul Ptolemeu în anul 120; el a măsurat destul de exact unghiurile de incidență și cele de refracție, și a ținut seama de influența refracției atmosferice asupra poziției aparente a Soarelui, Lunii, planetelor și stelelor. Datele obținute de Ptolemeu sînt foarte exacte; el nu a știut însă să dea o expresie cantitativă justă fenomenului.

a) **Legea refracției luminii.** Formularea actuală a legii refracției a fost dată în 1632 de W. Snellius și de R. Descartes (1596 — 1650), independent unul de altul.

Legea refracției luminii cuprinde următoarele părți: 1) raza incidentă, raza refractată și normala în punctul de incidență se află în același plan; 2) imaginea poate lua locul obiectului și invers, adică există o reciprocitate a razei incidente cu cea refractată, după principiul numit al reîntoarcerii razei de lumină; 3) o rază de lumină, trecând dintr-un mediu mai puțin dens într-unul mai dens, se apropie de normală (fig. 276) adică unghiul r este mai mic decât unghiul i ; invers, dacă raza trece dintr-un mediu mai dens în altul mai puțin dens, ea se depărtează de normală. Această neegalitate dintre unghiurile i și r nu este însă întâmplătoare: între unghiul de incidență i și unghiul de refracție r există relația

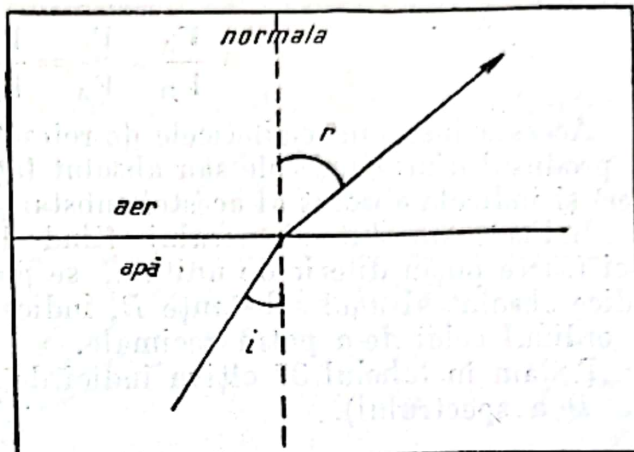


Fig. 276 — Unghiul de incidență și unghiul de refracție.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n,$$

unde n este o constantă numită indice de refracție al mediului în care se refractă raza. Indicele de refracție nu depinde de mărimea unuia din unghiuri, ci este raportul dintre sinusurile lor. Valoarea lui n depinde de lungimea de undă, adică de culoarea luminii în care se lucrează.

b) **Indicele de refracție.** Indicele de refracție este o mărime constantă pentru două medii date, pentru o lungime de undă dată.

Raza incidentă și cea refractată fiind reciproce, indicele de refracție al sistemului reciproc este inversul indicelui de refracție al sistemului dat; astfel, dacă sticla are față de aer indicele $n = 1,33$, aerul are față de sticlă indicele $n' = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,33}$.

Deci:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}, \text{ iar } n' = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{1}{n}.$$

Pentru radiațiile monocromatice de lungime de undă dată, acest indice este raportul dintre vitezele de propagare a luminii în mediul A și în mediul B .

Vom avea astfel ca indice de refracție al mediului B față de mediul A

$$n_{B/A} = \frac{V_A}{V_B}. \quad (1)$$

Indicele de refracție absolut al unei substanțe B este raportul dintre viteza V_v a luminii în vid și viteza V_B în substanța B :

$$n_{B/v} = \frac{V_v}{V_B}, \quad (2)$$

iar pentru aer vom avea ca indice absolut

$$n_{A/v} = \frac{V_v}{V_A} \quad (3)$$

Înmulțind relația (1) cu (3) obținem

$$n_{B/A} \times n_{A/v} = n_{B/v} \quad (4)$$

deoarece

$$\frac{V_A}{V_B} \times \frac{V_v}{V_A} = \frac{V_v}{V_B}$$

Aceasta înseamnă că indicele de refracție al unei substanțe B este egal cu produsul dintre indicele său absolut față de o substanță de referință A (aer) și indicele absolut al acestei substanțe de referință (față de vid).

Indicele absolut al aerului fiind 1,000 294 la 0° și 760 mm Hg, deci foarte puțin diferit de unitate, se poate lua fără mare eroare, drept indice absolut al unei substanțe B , indicele său față de aer, eroarea fiind de ordinul celei de-a patra zecimală.

Redăm în tabelul 37 cîțiva indici de refracție în lumina galbenă (linia D a spectrului).

Tabelul 37

Substanța	n_D
Gheață	1,309
Apă	1,333
Eter	1,352
Alcool etilic	1,362
Fluorină	1,434
Cloroform	1,446
Benzen	1,504
Ulei de cedru	1,510
Sticlă crown ușoară	1,515
Balsam de Canada	1,540
NaCl	1,544
Anilină	1,586
Sticlă flint ușoară	1,609
Crown greu	1,615
Sulfură de carbon	1,628
Flint greu	1,752
Diamant	2,417

c) **Refractometrie.** Indicele de refracție fiind o constantă importantă pentru cercetările și determinările de laborator, au fost alcătuite numeroase metode pentru determinarea lui: metoda refracției printr-o lamă cu fețele plan-paralele; metoda minimului de deviație printr-o prismă; metoda reflecției totale; metoda compensației; metoda interferometrică etc.

Dintre aceste metode, cele mai folosite în laboratorul clinic și în cercetarea științifică sînt metoda reflecției totale și metoda interferometrică.

Metoda reflecției totale se bazează pe fenomenul următor: lumina trecînd dintr-un mediu A într-un mediu B mai refringent, fiecareia din razele incidente S_1I , S_2I , S_nI îi corespunde cîte o rază refractată IR_1 , IR_2 , IR_n pînă cînd unghiul de incidență devine de 90° și deci incidența este razantă. Această incidență nu poate fi depășită, așa că unghiul de refracție corespunzător — din mediul mai refringent — se numește unghiul

limită al mediului B față de A și se notează cu λ . Valoarea unghiului λ este constantă pentru aceeași pereche de medii și este legată de indicele de refracție, așa cum arată relațiile următoare:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \lambda},$$

de unde:

$$\sin \lambda = \frac{\sin 90^\circ}{n} = \frac{1}{n}.$$

Sinusul unghiului limită λ este deci inversul indicelui de refracție n .

În baza reciprocității fenomenului, raza incidentă și cea refractată putând fi schimbate între ele, unghiul limită din mediul refringent (fig. 277) dă un unghi de refracție razant în mediul mai puțin refringent; o cît de neînsemnată mărire a acestui unghi limită (considerat ca unghi de incidență) nu mai

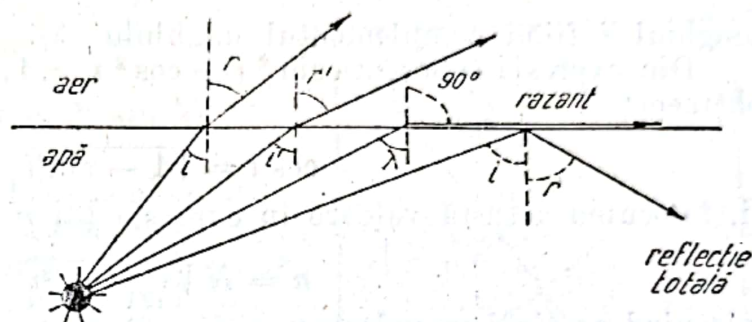


Fig. 277 — Saltul calitativ de la refracție la reflecție totală.

dă un unghi de refracție în mediul mai puțin dens, ci fenomenul își schimbă brusc calitatea și, în locul unei refracții în mediul mai puțin refringent, are loc o reflecție a razei în mediul mai refringent. Raza RI_e se reflectă pe suprafața de separare S ca pe o oglindă plană și se reîntoarce în mediul B . Această reflecție a primit numele de *reflecție totală*, deoarece nu este însoțită de refracție sau absorbție, cum se întâmplă de obicei la fenomenele de reflecție.

Pe determinarea apariției fenomenului de reflecție totală, adică pe determinarea unghiului limită, se bazează metoda refractometrică folosită mai mult în laboratoarele clinice; refractometrele Pulfrich și Abbe sînt aparate construite pe acest principiu.

Refractometrul Pulfrich. Dacă pe suprafața superioară orizontală a unei prisme de sticlă B de refringență mare, cu indicele de refracție cunoscut

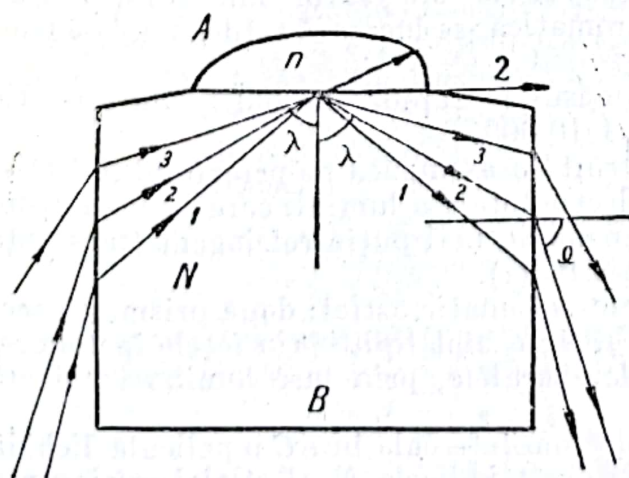


Fig. 278 — Principiul refractometrului Pulfrich.

N , se așază o substanță A (solidă sau o picătură de lichid) al cărui indice de refracție n vrem să-l aflăm, se poate ușor determina, pe un sector circular gradat, unghiul emergent e sub care va ieși din prismă o rază de lumină trimisă sub incidență razantă pe suprafața de separare a celor două medii A și B și care, refractată de această suprafață, face cu normala un unghi λ , egal cu unghiul limită.

Cunoscând unghiul e prin măsurare și legătura lui cu unghiul i din prismă, putem determina unghiul limită λ , și deci indicele de refracție n . În adevăr, din cele arătate mai înainte și din fig. 278 reies următoarele relații:

$$\sin \lambda = \frac{n}{N} \text{ de unde } n = N \sin \lambda \quad (1)$$

$$\frac{\sin e}{\sin i} = N, \text{ deci } \sin i = \frac{\sin e}{N} \quad (2)$$

$$n = N \sin \lambda = N \cos i \quad (3)$$

(unghiul i fiind complementul unghiului λ).

Din expresia cunoscută $\sin^2 i + \cos^2 i = 1$, scoțind valoarea lui $\cos i$, obținem:

$$\cos i = \sqrt{1 - \sin^2 i}$$

și, înlocuind această valoare în expresia (3) $n = N \cos i$, obținem

$$n = N \sqrt{1 - \sin^2 i} \quad (4)$$

înlocuind pe $\sin^2 i$ cu valoarea sa din (2)

$$\sin^2 i = \frac{\sin^2 e}{N^2}$$

avem:

$$n = N \sqrt{1 - \frac{\sin^2 e}{N^2}} = N \sqrt{\frac{N^2 - \sin^2 e}{N^2}} \\ n = \sqrt{N^2 - \sin^2 e}. \quad (5)$$

Formula (5) ne dă indicele de refracție n căutat, în funcție de unghiul de emergență e , ce se poate măsura și de indicele N al prisme de sticlă care este cunoscut și totdeauna același pentru același aparat. Valorile lui n pentru diferitele valori ale unghiului e sînt calculate și cuprinse într-un tabel, iar unghiul e se determină cu precizie cu o lunetă ce se mișcă într-un plan vertical cu ajutorul unui șurub micrometric.

Refractometrul primește lumina de la un izvor luminos printr-un filtru care furnizează lumină monocromatică; se lucrează totdeauna la o temperatură bine determinată.

Acest refractometru permite măsurări rapide de indice de refracție cu o precizie de 1/1 000 și chiar 1/10 000.

Refractometrul Abbe este construit de asemenea pe principiul reflecției totale. Se determină unghiul de reflecție totală a luminii care trece dintr-un mediu mai refringent (sticlă) într-un mediu mai puțin refringent (substanța al cărei indice de refracție îl determinăm).

Principiul metodei poate fi redat schematic astfel: două prisme cu secțiune de triunghi dreptunghi ABC și ADC sînt lipite prin fețele ipotenuze, alcătuind astfel o lamă cu fețe plan-paralele, prin care lumina incidentă nu suferă nici o deviere (fig. 279).

Dacă însă între cele două prisme vom intercala în AC o peliculă lichidă sau solidă cu un indice n mai mic decît indicele N al sticlei refringente din care este construită prisma, și vom trimite o rază LL' , cu direcția fixă,

ochiul așezat în L' va primi lumina care străbate acest dispozitiv. Dacă se dă o rotire acestei prisme în jurul unui ax care trece prin I și este perpendicular pe planul figurii, la un moment dat raza LI va fi reflectată total; dacă lumina în care se lucrează este monocromatică, se va observa o dispariție bruscă a ei.

Când lumina dispăre, unghiul λ este unghiul limită de incidență în I . Notînd cu ω unghiul cunoscut al prisme și cu β unghiul de incidență pe fața de ieșire, avem:

$$\lambda = \omega + \beta,$$

unde ω și β sînt cunoscute. Unghiul λ fiind unghiul limită la suprafața mediului de indice n , putem scrie:

$$\frac{1}{\sin \lambda} = \frac{N}{n} \quad (\text{de unde } n = N \sin \lambda),$$

relație din care obținem valoarea indicelui de refracție al substanței examinate.

Luneta aparatului este legată de sectorul A mobil în jurul axei H (fig. 280) și gradat. Alidada B permite reperarea pe sectorul A a poziției dată de prismă, cînd cîmpul este luminat în întregime și uniform și cînd se produce reflecția totală. Aparatul Abbe este gradat astfel încît, atunci cînd acest cîmp se întuneacă, o simplă lectură pe sectorul circular dă indicele căutat.

Necesitînd numai o picătură de lichid pentru introducerea între cele două fețe ipotenuze (între cele două semiprisme), refractometrul Abbe este folosit pentru lichide din care nu posedăm decît cantități foarte mici. Un dispozitiv permite menținerea biprisme la temperatură constantă pentru ca determinarea să poată fi comparabilă.

d) **Aplicațiile indicelui de refracție.** Indicele de refracție al unei substanțe fiind o constantă fizică (ca și densitatea, căldura specifică, punctul de fierbere etc.), care permite caracterizarea unei substanțe, determinarea lui prezintă interes, atît din punct de vedere teoretic, cît și practic.

Importanța teoretică rezultă din faptul că există o relație simplă între indicele de refracție n și densitatea d a unei substanțe. Newton a găsit formula următoare:

$$\frac{n^2 - 1}{d} = \text{const}$$

și a dat acestei constante numele de *putere refringentă*. Teoria electromagnetică a luminii a condus la formula:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2d} = \text{const}$$

expresie a puterii refringente care se aplică mai bine diferitelor substanțe

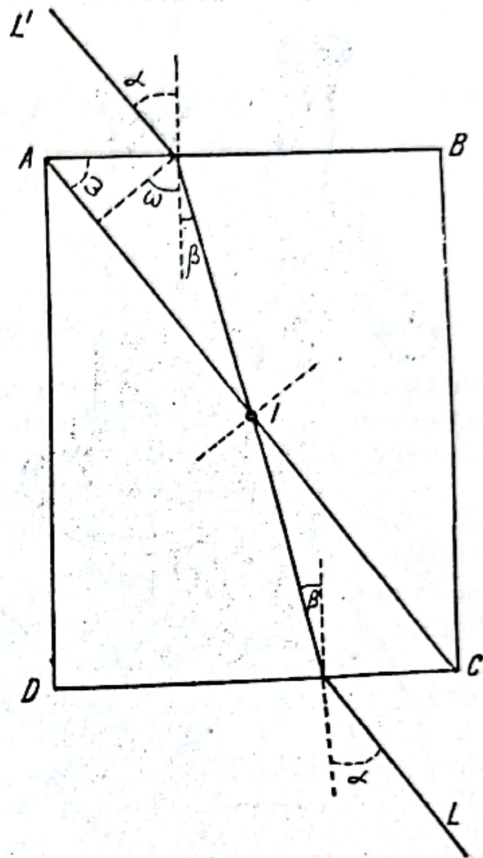


Fig. 279 — Principiul refractometrului Abbe.

în diferite stări și care este folosită în general sub numele de *constantă de refracție*.

Produsul dintre această constantă și greutatea moleculară M a unui corp se numește *refracție moleculară*, și are expresia:

$$R_m = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{d}.$$

Dacă în locul greutății moleculare se consideră greutatea atomică A , se obține *refracția atomică*:

$$R_a = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{A}{d}.$$

S-a stabilit că puterea refringentă moleculară a unei substanțe chimice de compoziție determinată este egală cu suma refracțiilor atomice ale elementelor care constituie molecula:

$$R_m = a_1 r_1 + a_2 r_2 + a_3 r_3 + \dots,$$

unde a este numărul de atomi ai fiecărui element și r este refracția atomică a elementului respectiv care intră în alcătuirea moleculei compuse. Această expresie este utilizată în determinarea unor greutăți moleculare și atomice.

În practică, metoda refractometrică

este folosită pentru studiul și identificarea anumitor substanțe, cum sînt de exemplu uleiurile esențiale, uleiurile grase, glicerina etc., unde indicele de refracție este una din constantele fizice caracteristice, folosite mai mult.

Uleiurile medicamentoase, cum ar fi untura de pește (uleiul de ficat de *Gadus morrhua*), sînt examinate din acest punct de vedere cu ajutorul unui aparat numit oleorefractometru. Aparatul este construit pe principiul metodei comparării. Astfel, o prismă goală ai cărei pereți sînt lame plan-paralele (fig. 281) se află într-o cuvă metalică cu doi pereți de sticlă de asemenea plan-paraleli GG . În cuvă se toarnă uleiul de cercetat, iar în prisma goală, un ulei considerat corespunzător categoriei respective și care se ia drept etalon. Trimițînd un fascicul de raze paralele printr-un colimator după direcția arătată de săgeată, dacă substanța cercetată are același indice de refracție cu uleiul etalon, lumina nu suferă nici o deviație. Dacă uleiul are un indice diferit de uleiul B , vom constata o deviație, fie spre baza, fie spre vîrfurile prismei, după cum indicele uleiului A este mai mare

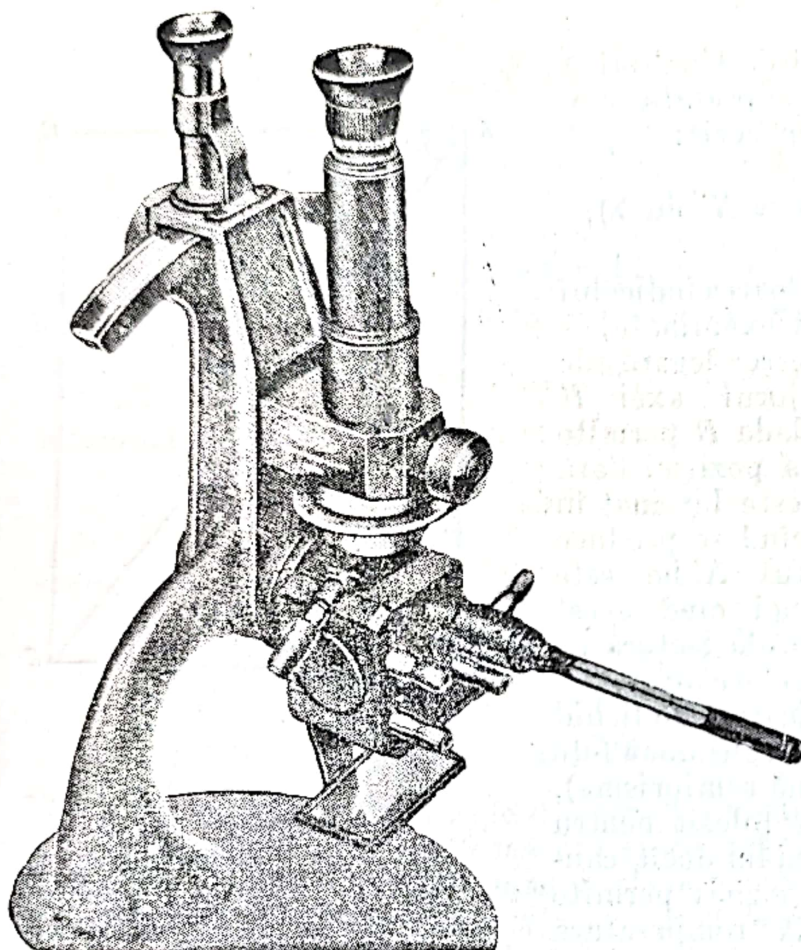


Fig. 280 — Refractometrul Abbe.

sau mai mic decât al uleiului *B*. Se pot astfel descoperi falsificări care micșorează calitățile uleiului analizat.

Determinarea indicelui de refracție a fost aplicată și la dozarea untului din lapte, iar măsurarea indicelui de refracție al lichidului rămas după coagularea laptelui la cald, cu ajutorul acidului acetic, permite descoperirea falsificării laptelui prin adăugare de apă.

Refractometria este utilizată și la analiza lichidelor alcoolice.

În cercetările biologice și medicale, prin determinarea indicelui de refracție se pot afla ușor variațiile de concentrație în substanțe proteice a diferitelor lichide din organism. Astfel, se poate pune diagnosticul de nefrită clorurică folosind metoda refractometrică, proteinele fiind scăzute în sânge (75–90 g la litru).

În stare normală, indicele de refracție al serului uman este cuprins între 1,348 70 și 1,351 70.

Indicele de refracție al soluțiilor crescând cu concentrația lor în substanțe dizolvate, în cazul serului uman, unde sărurile se găsesc în proporție aproximativ constantă, variația indicelui de refracție arată variația conținutului în proteine (după etalonări analitice prealabile).

În tabelul 38 este redat, după Reiss, conținutul în substanțe proteice la % de ser în raport cu indicele de refracție.

Tabelul 38

n_D	Substanțe proteice (la 100 ser)
1,337 05	0,63
1,340 86	2,84
1,344 63	5,03
1,348 36	7,20
1,352 05	9,35

Indicele de refracție al urinii este cuprins între 1,330 și 1,340; variația acestuia, ținând seama de volumul total al urinii emise în 24 de ore, poate da indicații asupra gradului de epurare a organismului.

Indicele de refracție al lichidului cefalorahidian oscilează în jurul valorii $n = 1,390$.

Determinarea diferitelor proteine ale serului sanguin se face printr-o metodă de identificare pe cale refractometrică a fracțiunilor care migrează la electroforeză, cu viteze

diferite; metoda a fost examinată la studiul proprietăților electrice ale coloizilor.

Indicele de refracție se mai determină cu precizie și pe cale interferometrică, cum se va arăta mai departe, la capitolul despre interferență.

e) **Refracția prin lame cu fețe plan-paralele.** Acest caz de refracție îl întâlnim curent pretutindeni, și frecvent în laborator, la lamele și lamelele de microscop. În aceste cazuri, raza de lumină se refractă o dată la intrarea în lamă și o dată la ieșirea din lamă. Cum mediul față de sticlă este același în ambele refracții (în general aerul), refracția de intrare este compensată de cea de ieșire, așa că raza își continuă drumul paralel cu direcția de intrare în lamă. Din cauza grosimii lamei se produce o deplasare a razei luminoase, paralelă cu ea însăși, dar cu atât mai mare cu cât lama este mai groasă și unghiul de incidență este mai mare.

La un unghi de incidență zero, deviația este de asemenea zero. Deci, printr-o lamă cu fețe plan-paralele, pentru a nu avea devieri, trebuie să privim normal și, în general, lamele folosite trebuie să fie subțiri (fig. 282).

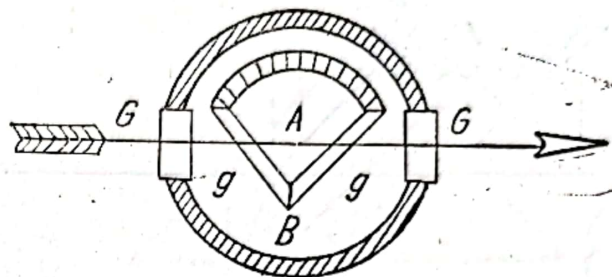


Fig. 281 — Oleorefractometru.

f) **Refracția prin prisme.** La trecerea printr-o prismă, refracția se face într-un mod deosebit. În optică, prismă este un mediu refringent mărginit de două fețe plane care nu sînt paralele. Dacă în calea unui fascicul luminos S , care dă pe un ecran o pată luminoasă S' , așezăm o prismă A cu muchea în sus, vom constata că pe ecran apare o pată S'' colorată în cele 7 culori care compun lumina albă și așezată mult mai jos. Au avut deci două fenomene: lumina a fost deviată spre baza prisme, și prismă a dispersat lumina albă, descompunînd-o în cele 7 culori simple cunoscute.

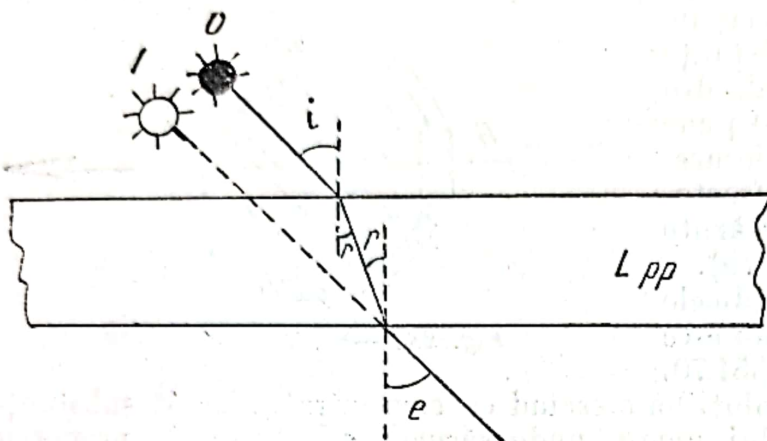


Fig. 282 — Refracția prin lame cu fețe plan-paralele.

În ce privește devierea luminii prin prismă, o demonstrație geometrică simplă arată că raza de lumină emergentă este deplasată cu un unghi D care are valoarea dată de relația

$$D = i + r' - A,$$

unde i este unghiul de incidență a luminii, r' este unghiul de emergență și A

este unghiul diedru al prisme (fig. 283).

Din relația de mai sus reiese că devierea D a prisme este în funcție de unghiul de incidență i . Când $i = r'$, devierea este minimă. Devierea D mai depinde de unghiul A al prisme.

Dacă unghiul A al prisme este de 90° , putem folosi prismă la obținerea reflecției totale, și deci să o utilizăm ca oglindă perfectă în diferitele aparate optice. În adevăr, raza de lumină, care cade normal pe fața prisme, are unghiul de incidență pe baza ei de 45° , deci mai mare cît este unghiul limită pentru sticlă; refracția face astfel loc reflecției totale. La aparatele optice (binoclu), la microscopul binocular, la colorimetrul Duboscq, la camera clară a microscopului, la endoscopie și în multe alte aparate optice, prismă cu reflecție totală este folosită în loc de oglindă (fig. 284).

În fine, devierea depinde de indicele de refracție n al prisme. Folosind prisme de aceeași formă geometrică, dar din substanțe diferite, cu indici de refracție diferiți, obținem o dispersie diferită a luminii.

Refracția prin prismă prezintă un interes deosebit pentru faptul că, la trecerea prin prismă, lumina albă este descompusă (dispersată) în radiații colorate. Aceasta arată pe de o parte că lumina albă nu este o lumină simplă, ci o lumină compusă din radiații de diferite culori (se disting în linii mari 7 culori: roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo și violet) și, pe de altă parte, că fiecare din aceste radiații are alt indice de refracție: roșul are in-

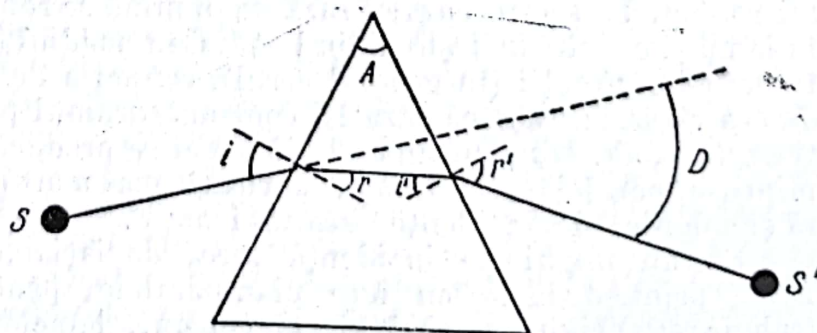


Fig. 283 — Unghiul de deviere D al prisme.

dicele cel mai mic și violetul cel mai mare. Dispersia luminii va fi examinată mai departe.

g) **Lentile.** Mediile refringente pot fi separate prin una sau mai multe fețe numite dioptri. Acești dioptri pot fi plani sau curbi. O lentilă este mărginită de doi dioptri. Ochiul omenesc, sub forma de ochi redus, despre care va fi vorba mai departe, este mărginit printr-un singur dioptru față de aer, corneea transparentă, imaginea formându-se chiar în mediul refringent.

Un sistem de suprafețe sferice se numește centrat cînd centrele geometrice ale tuturor acestor suprafețe sînt așezate pe o singură dreaptă, numită axă optică principală a sistemului. Lentila obișnuită este un sistem optic centrat. Obiectivul microscopului, format din 4—8 lentile, este un sistem optic centrat, avînd 8—16 suprafețe refringente (dioptri). Oricîte suprafețe ar avea însă un sistem optic centrat, el are numai două focare, iar imaginile se formează în el ca într-o singură lentilă.

Lentila este un sistem optic centrat, format din doi dioptri, din care cel puțin unul curb, care separă un mediu refringent (sticlă, cuarț, fluorină, gheață) de aerul din jur (fig. 285 a).

După forma lor, lentilele sînt biconvexe (a), plan-convexe (b), biconcave (c), plan-concave (d), și convex-concave: menisc convergent (e) și menisc divergent (f). În fig. 285 se arată cum iau naștere teoretic aceste lentile.

Considerînd o lentilă de forma cea mai comună, cea biconvexă, găsim că ea are drept elemente următoarele: centrele geometrice (fig. 286), cîte unul de fiecare dioptru care face parte dintr-o sferă, axa principală care trece prin cele două centre și focarele care se află cam la jumătatea distanței dintre centrul geometric și lentilă. Lentila are două vîrfuri S_1 și S_2 , cîte unul pentru fiecare față a ei.

Lentila se numește subțire dacă cele două vîrfuri ale ei, S_1 și S_2 , pot fi considerate contopite în O , și dacă grosimea lentilei este mică în comparație cu distanțele p și p' . În acest caz, punctul O se numește centrul optic al lentilei sau punctul ei nodal. O rază de lumină care trece prin O nu suferă practic nici o deviere, fiindcă putem considera că refracția se face acolo ca printr-o lamă subțire cu fețele paralele.

Deschiderea relativă a unei lentile este raportul dintre diametrul și distanța ei focală. De deschiderea unei lentile depinde cantitatea de lumină ce poate trece prin sistemul optic din care face parte lentila. Dispozitivele cu ajutorul cărora se poate modifica deschiderea lentilelor se numesc diafragme. Un aparat optic poate avea cîteva diafragme, de anumite diametre, practicate într-un cerc sau într-o lamă dreptunghiulară. Cea mai bună diafragmă, a cărei deschidere poate varia continuu, de la zero pînă la diametrul lentilei, este diafragma „iris”, numită astfel din cauza asemănării

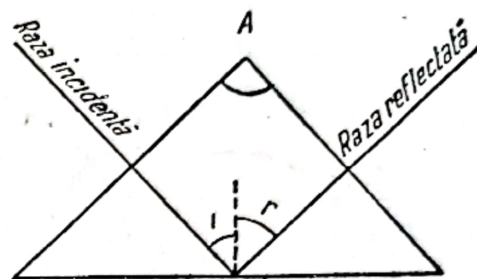


Fig. 284 — Reflecția totală prin prismă.

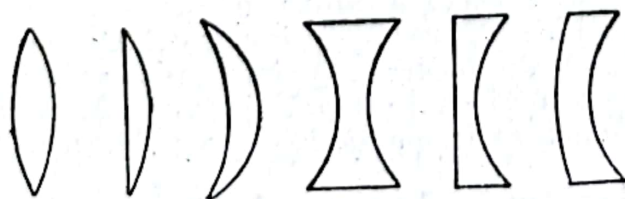


Fig. 285 a — Secțiunile lentilelor.

cu irisul ochiului. Diafragma iris este formată din 20—30 de lame semilunare, de ebonită sau de metal; printr-o mișcare anumită, această diafragmă limitează o deschidere care capătă astfel un diametru variabil și are forma unui poligon curbilîn, apropiat

de forma circulară. Lentila care este spre mijloc mai groasă decât la margini (biconvexă, plan-convexă, menisc convergent) converge într-un punct toate razele paralele care o străbat venind de la infinit. Acest fel de lentilă se numește lentilă convergentă.

În lentila convergentă (fig. 287), imaginea se formează după aceleași reguli geometrice ca în oglinda convergentă. Un obiect așezat cu unul din capete pe axul principal își are imaginea acestui punct tot pe axul principal, raza străbătând lentila fără a se refracta. Dacă din celălalt punct extrem

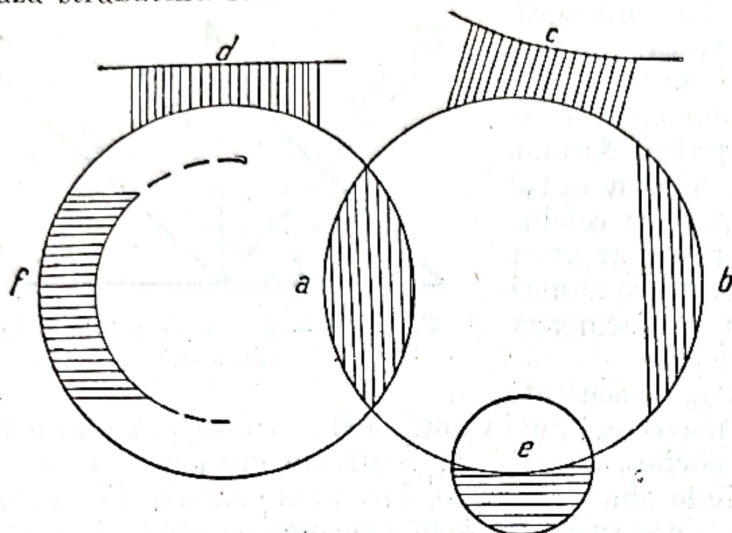


Fig. 285, b — Cum iau naștere teoretic lentilele.

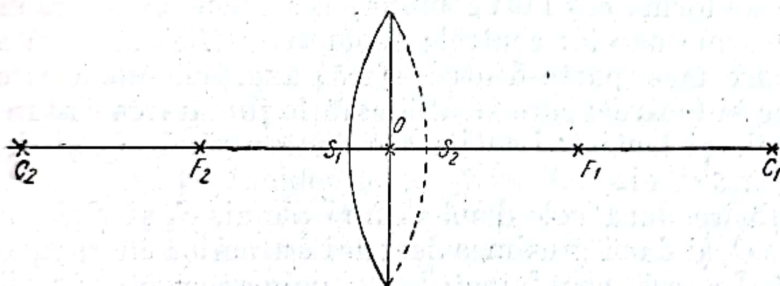


Fig. 286 — Elementele unei lentile.

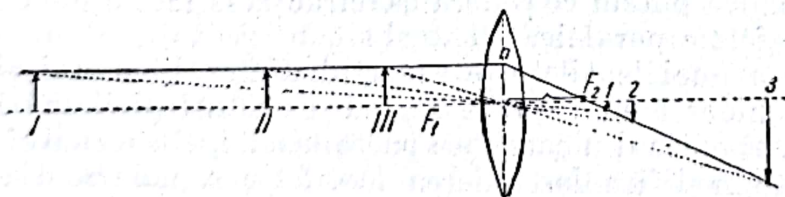


Fig. 287 — Imaginea reală într-o lentilă convergentă.

al obiectului AB trimitem o rază de lumină paralelă cu axul principal, această rază se refractă, trecând prin focar, iar pe această rază refractată se va forma imaginea; imaginea se formează la intersecția razei refractate cu axul secundar, care trece prin punctul considerat și prin centrul optic al lentilei.

aflat de asemenea la dublul distanței focale. În acest interval, imaginea crește în mărime, dar este tot mereu mai mică decât obiectul; este reală și inversată și se află între F_1 și C_1 . Când obiectul a ajuns în C_2 , imaginea a ajuns în C_1 ; este la fel de mare ca obiectul, reală și inversată. Obiectul trecând de punctul C_2 și apropiindu-se de focarul F_2 , imaginea părăsește punctul C_1 și pleacă spre infinit; este mai mare, reală și inversată. Când obiectul a ajuns în focarul F_1 , imaginea se formează la $-\infty$; este foarte mare, reală și inversată.

De îndată ce obiectul trece cît de puțin de focar spre lentilă, imaginea face un salt calitativ: ea se schimbă brusc, trecînd de la $-\infty$ la $+\infty$,

adică se formează de aceeași parte cu obiectul; este deci virtuală, dreaptă și mai mare (fig. 288). Cu cât ne apropiem de obiectul de lentilă, cu atât imaginea se micșorează; când obiectul este foarte apropiat de lentila subțire, imaginea virtuală are mărimea aproape cât a obiectului.

Legătura dintre dimensiunile obiectului și cele ale imaginii reiese din triunghiurile asemenea din fig. 289. Avem astfel:

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p} \quad (1)$$

Formula lentilelor convergente se determină prin asemănarea triunghiurilor din fig. 290; avem:

$$\frac{I}{O} = \frac{p' - f}{f} \quad (2)$$

Eliminând $\frac{I}{O}$ între relațiile (1) și (2), obținem, prin aceleași operații ca și în cele făcute la stabilirea formulei oglinzile curbe:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

Lentilele divergente (biconcave, plan-concave, menisc divergent) dau numai imagini virtuale, drepte și mai mici decât obiectul (fig. 291). Imaginea se vede numai privind prin lentilă. Ea se mărește cu cât obiectul se apropie de lentilă, când obiectul se află lipit de lentila divergentă, și această lentilă este destul de subțire, imaginea este aproape atât de mare ca obiectul.

Formula (3) se aplică și lentilelor divergente, pentru care poate fi dedusă printr-un calcul asemănător celui făcut pentru lentila convergentă. Din cauza distanței focale virtuale și a distanței p' , virtuale, f și p' capătă semnul minus, așa că formula (3) devine:

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f} \quad (4)$$

Dacă ținem seama de indicele de refracție n al substanței din care sînt confecționate lentilele și de razele de curbură R_1 și R_2 ale sferelor din care fac parte fețele sferice ale lentilei, formula ia forma generală:

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = (n - \alpha) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right). \quad (5)$$

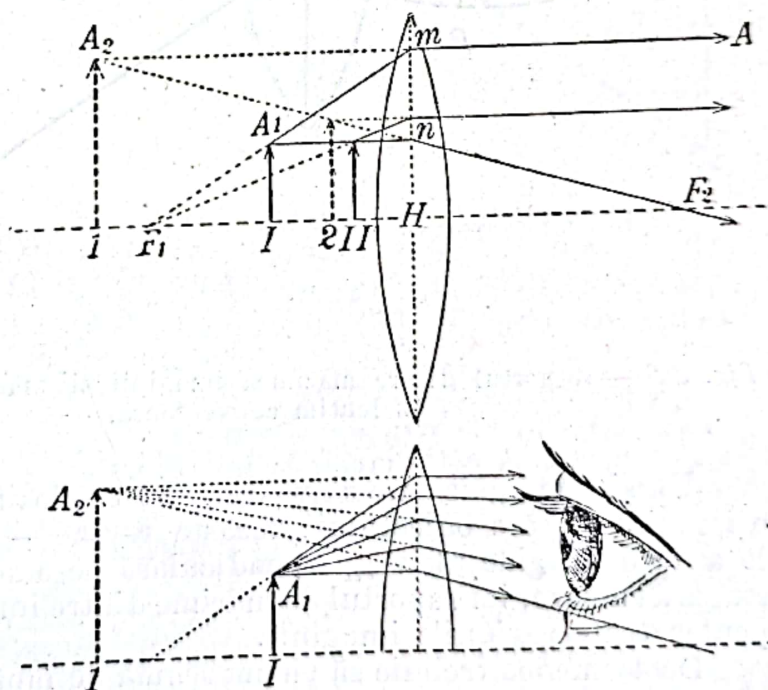


Fig. 288 — Imaginea virtuală, dreaptă și mai mare într-o lentilă convergentă.

h) Defectele sistemelor optice. Construcțiile de optică geometrică descrise până acum corespund realității numai dacă de la obiect vine un fascicul luminos destul de îngust, dacă razele sînt paralele cu axa principală a sistemului și foarte apropiate de ea, sau fac cu axa principală un unghi destul de mic; de asemenea este necesară condiția de monocromatism.

În sistemele optice folosite curent, aceste condiții nu pot fi aplicate totdeauna, și mai ales toate dintr-o dată. Unele obiecte au regiuni importante, aflate la un unghi apreciabil față de axa principală a sistemului. Lumina folosită este de obicei de compoziție spectrală complexă, așa că trebuie să se țină seama de indicii de refracție diferiți ai radiațiilor de lungime de undă diferită.

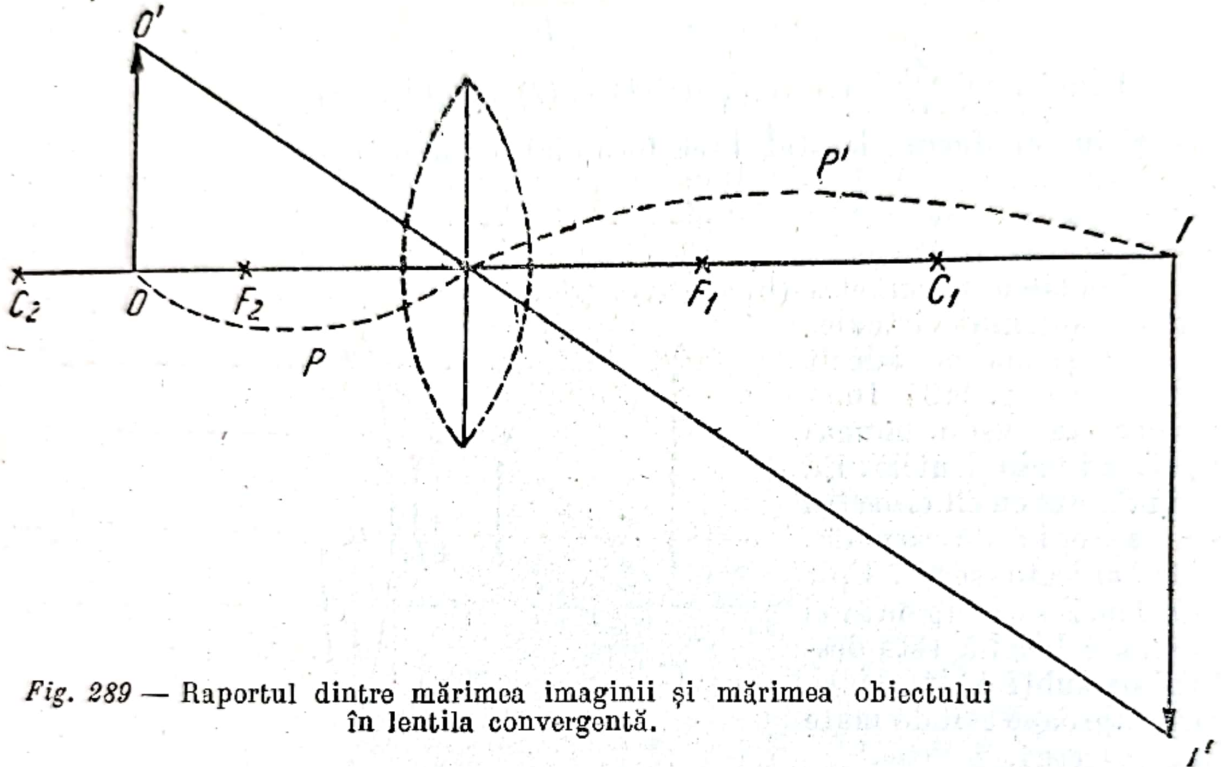


Fig. 289 — Raportul dintre mărimea imaginii și mărimea obiectului în lentila convergentă.

Un sistem optic care să poată fi bine folosit în practică trebuie să dea o imagine justă a obiectului; aceasta revine — în cazul cel mai simplu — la a da o imagine plană, perpendiculară pe axa optică a sistemului, de o singură culoare, iar raportul de mărime dintre imagine și obiect să fie același pentru toate regiunile imaginii.

De asemenea trebuie să ținem seama de faptul că, în timp ce obiectele sînt de cele mai multe ori spațiale, deci cu trei dimensiuni, imaginile pe retină, în lunetă sau pe fotografie sînt plane.

Dintre defectele lentilelor, cele mai des întîlnite sînt: aberația de sfericitate, aberația cromatică, astigmatismul, distorsia.

Aberația de sfericitate. Considerînd pe axa unui sistem optic un punct luminos care trimite un fascicul larg spre o lentilă convergentă, se constată că o rază R care cade într-o regiune periferică pe lentilă se refractă trecînd prin focarul F , în timp ce altă rază R' , care cade mai aproape de axa optică, se refractă trecînd prin focarul F' , aflat mai de o parte de lentilă decît focarul F . La fel se întîmplă dacă lumina care cade pe lentilă vine sub forma unui fascicul paralel.

Pentru a putea urmări mai bine refracția în diferitele regiuni ale lentilei, o acoperim cu un ecran opac, de formă circulară, care are de-a lungul

unuia din diametre (de exemplu, de-a lungul diametrului vertical) o serie de orificii mici, echidistante. Făcînd experiența pe întuneric, într-un mediu cu suspensii fine (aer cu fum sau cu pulberi fine, ori o soluție coloidală), putem vedea cum fiecare rază care trece prin deschiderile ecranului intersectează raza ce trece prin orificiul central (și care coincide cu axa principală) în alt punct, aflat cu atît mai departe de lentilă cu cît orificiul este mai apropiat de axa lentilei. Dacă vom avea de exemplu cinci orificii deasupra centrului și cinci dedesubt, vom vedea cele cinci focare înșirîndu-se

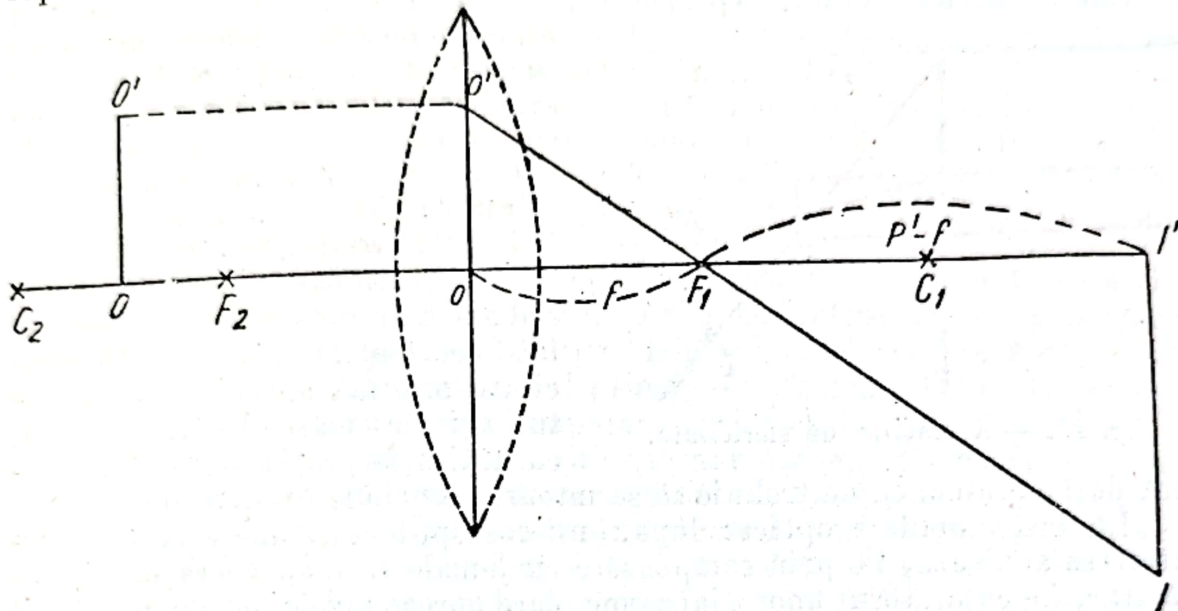


Fig. 290 — Construcția geometrică pentru determinarea formulei lentilelor.

pe axa principală. Înlăturînd ecranul opac, nenumăratele puncte luminoase ale fasciculului își formează fiecare focarul lui și toate focarele vor forma o linie, aflată chiar pe axa principală a lentilei.

Această abatere de la regula de optică geometrică care cere un punct focal se numește aberație de sfericitate. Numirea s-a generalizat și la dioptrii nesferice, la care o întîlnim în diferite cazuri. Din cauză că linia focală se așază de-a lungul axei optice, aberația se numește *longitudinală*.

Aberația de sfericitate se poate explica intuitiv admițînd că lentila este formată din numeroase zone foarte înguste, fiecare din ele putînd fi considerată ca făcînd parte din cîte o prismă și fiecare prismă avînd altă deviere, fiindcă are alt unghi diedru A ; cu cît razele incidente sînt mai depărtate de axa principală, cu atît unghiul de deviere este mai mare. Pentru axa principală, unghiul de deviere este zero, fiindcă acolo lentila poate fi considerată ca o lamă cu fețe plan-paralele, și deci devierea este nulă, imaginea punctului luminos formîndu-se chiar pe axa optică.

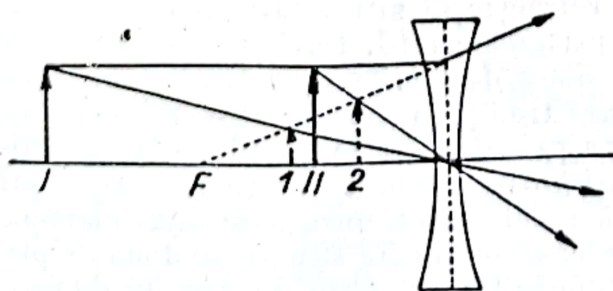


Fig. 291 — Imaginea în lentila divergentă.

Ne dăm ușor seama că dacă vom deplasa un ecran alb, perpendicular de-a lungul axei optice în regiunea liniei focale, vom avea în fiecare punct imaginea focalului razelor care taie în acel punct axa principală; fiecare din aceste puncte luminoase va fi totdeauna înconjurat de un cerc mai mare sau mai mic, de

intensitate luminoasă diferită, numit cerc de difuziune, și care se datorește razelor ce se întâlnesc într-un focar aflat mai înaintea sau mai înapoia ecranului aflat în momentul dat într-unul din punctele focale.

Ca măsură a aberației de sfericitate se ia distanța dintre F și F' (aberația longitudinală); raza $F't$ a cercului de difuziune, care are suprafață maximă, se numește *aberație transversală* (fig. 292).

Aberația de sfericitate depinde de mărimea curburii suprafeței lentilei, cum și de orientarea lentilei față de izvorul luminos în cazul când lentila nu este simetrică. Astfel, experiența arată că aberația de sfericitate este

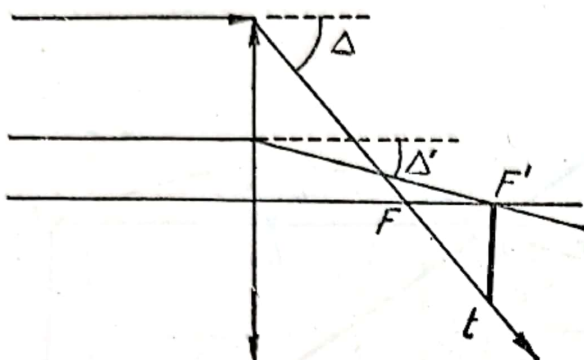


Fig. 292 — Aberațiile de sfericitate.

minimă pentru o lentilă de crown (indice de refracție $\sim 1,5$), când raza de curbură a dioptrului de ieșire a fascicului luminos este de șase ori mai mare decât a celui de intrare. Practic, o astfel de lentilă, îndreptată cu dioptrul mai convex spre fasciculul de raze paralele, nu are aberație de sfericitate. Dacă se întoarce lentila, aberația de sfericitate minimă amintită devine de trei ori mai mare. De aici rezultă, ca indicație prețioasă pentru practica de laborator, că nu trebuie să se întoarcă lentilele în aparatele optice.

La instrumentele optice: lupa, microscopul etc., aberația de sfericitate se anulează, fie prin compensare cu lentile care au aberația de sens contrar, fie cu ajutorul unor diafragme, care opresc razele periferice, lăsând să treacă numai cele paraxiale.

Aberația cromatică este un defect de refracție al unui sistem optic; această aberație constă în faptul că — în lumina albă —, fiecare secțiune a lentilei funcționând ca o prismă al cărei unghi de deviere crește de la centrul câmpului lentilei spre periferie, prisme, îndeosebi cele periferice, descompun lumina, și imaginea apare astfel colorată în culorile spectrului luminii albe. Aberația cromatică se poate corecta parțial cu ajutorul unei diafragme care împiedică trecerea razelor marginale; defectul rămâne însă, mai atenuat, pentru regiunea mai apropiată de centrul câmpului lentilei. O corecție bună se obține prin alipirea unei lentile suplimentare. Astfel, o lentilă bine corectată se obține asociind unei lentile biconvexe de crown o lentilă (menisc) divergentă de flint. Lentila suplimentară lungeste distanța focală a primei lentile, în măsură mai mare pentru razele cu lungimea de undă mai mică, așa că focarul violet se deplasează mai mult decât focarul roșu. Calculând sistemul în mod convenabil, putem obține ca focarele a cel puțin două lungimi de undă să coincidă, și astfel aberația cromatică se anulează. Lentilele corectate se numesc lentile acromatice.

Astigmatismul. Un alt defect de refracție al sistemelor optice, întâlnit adesea și în optica fiziologică, este astigmatismul. Dacă refracția se face printr-un dioptru curb, care are în două direcții perpendiculare raze de curbură de mărimi diferite, razele care trec prin dioptru se vor intersecta după două linii perpendiculare pe axa principală a sistemului și perpendiculare între ele, însă aflate la o anumită distanță una de cealaltă. Defectul de refracție, care constă în faptul că razele corespunzătoare unui element oarecare al dioptrului curb se intersectează în puncte situate pe două drepte focale perpendiculare între ele, se numește astigmatism. Fasciculul de raze astigmatice nu dă un focar punctiform. Cu cât distanța dintre cele două linii

focale (numită distanță de astigmatism) este mai mică, cu atât fiecare din liniile focale este mai scurtă, iar la limită ele se contopesc într-un singur punct. Astigmatismul se poate corecta prin lentile cu anumite raze de curbura și dioptri de anumită formă, care compensează defectul de astigmatism al lentilei. Sistemul optic astigmat corectat se numește sistem *anastigmat*. În studiul opticii fiziologice vom arăta cum se corectează astigmatismul dioptrului ocular.

Distorsia. Un alt defect, de asemenea întâlnit în optica fiziologică, este distorsia. Acest defect constă în faptul că imaginea nu este geometric asemenea cu obiectul. Astfel, dacă se dă obiectului forma unei rețele formate din linii drepte, care se intersectează perpendicular, formând ochiuri pătrate, și dacă această rețea este așezată într-un plan perpendicular (normal) pe axa optică, imaginea apare formată din linii curbe, fie că ele se apropie între ele la marginea câmpului lentilei, fie că se depărtează. Distorsia nu este prea mare la aparatele optice uzuale; ea se corectează prin metode speciale, foarte migăloase.

i) **Aplicațiile lentilelor.** Instrumentele și aparatele optice în care sînt utilizate diferitele categorii de lentile și sisteme optice centrate sînt numeroase și întrebuițate pe scară largă. Din punct de vedere fizic, aceste aparate se clasifică după caracterul principal al imaginii pe care o dau: aparate optice cu imagine reală și aparate optice cu imagine virtuală.

Dintre aparatele optice care dau imagini reale, aparatele de proiecție și aparatele fotografice au o întrebuițare curentă în toate domeniile științifice și culturale, și sînt mult folosite în studiul și cercetarea biologică și medicală; descrierea și funcționarea lor sînt date în tratatele de fizică generală.

Un interes deosebit pentru biologie și medicină îl prezintă instrumentele și aparatele optice care dau o imagine finală virtuală: lupa și microscopul, cu perfecționările și metodele moderne de utilizare a lor.

Studiul bazelor teoretice și al tehnicii microscopiei cerînd unele premise care vor fi date în capitolele următoare, vom consacra principiilor și tehnicii microscopiei un capitol deosebit în partea finală a Opticii.

IV. DISPERSIA LUMINII

Newton a arătat, în 1704, că lumina Soarelui nu este o lumină simplă, ci este alcătuită din raze de diferite culori. Trecînd lumina albă printr-o prismă, are loc o descompunere sau dispersare a luminii și, dacă primim razele colorate pe un ecran, ele iau o formă desfășurată, care a primit numele de spectru (fig. 293).

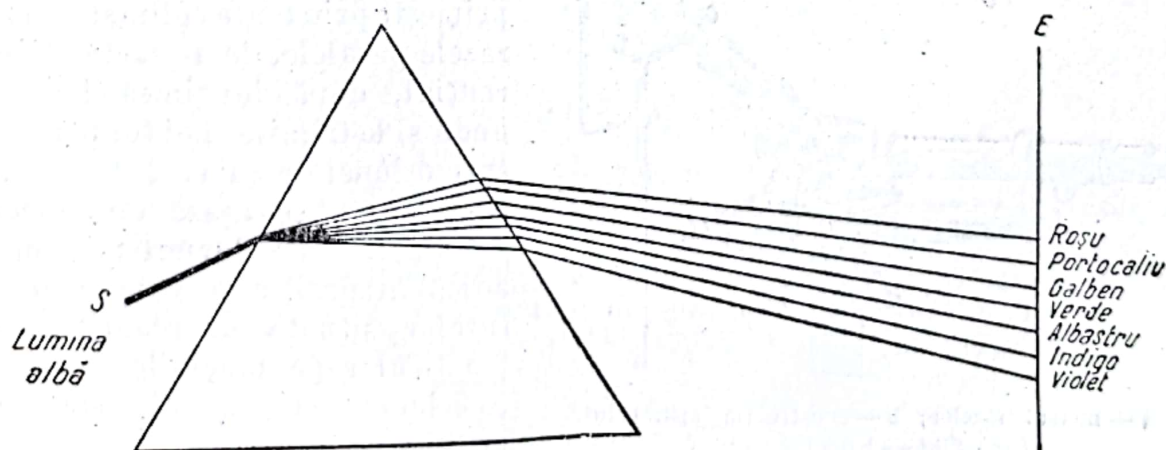


Fig. 293 — Dispersia luminii albe.

Dacă prisma care dispersează lumina este așezată cu unghiul diedru A în sus, se formează violetul în partea de jos, iar roșul în partea de sus. Radiația violetă a spectrului este deci deviată mai mult, iar cea roșie mai puțin. Între aceste două culori extreme ale spectrului vizibil se așază celelalte culori, așa că, dacă spectrul nu este prea întins, se pot delimita în el 7 zone colorate, de diferite lărgimi și așezate în ordinea cunoscută: roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo și violet.

A. APARATE PENTRU CERCETAREA DISPERSIEI LUMINII

1. SPECTROSCOPUL

Aparatul optic cu care se cercetează dispersia luminii, fie pentru studiu, fie pentru analiză practică, se numește, în general, *spectroscop*.

Dacă aparatul este destinat măsurării lungimilor de undă ale radiațiilor luminoase din spectru, el se numește *spectrometru*, iar dacă este construit astfel încât poate fi utilizat pentru fotografierea spectrelor, aparatul se numește *spectrograf*.

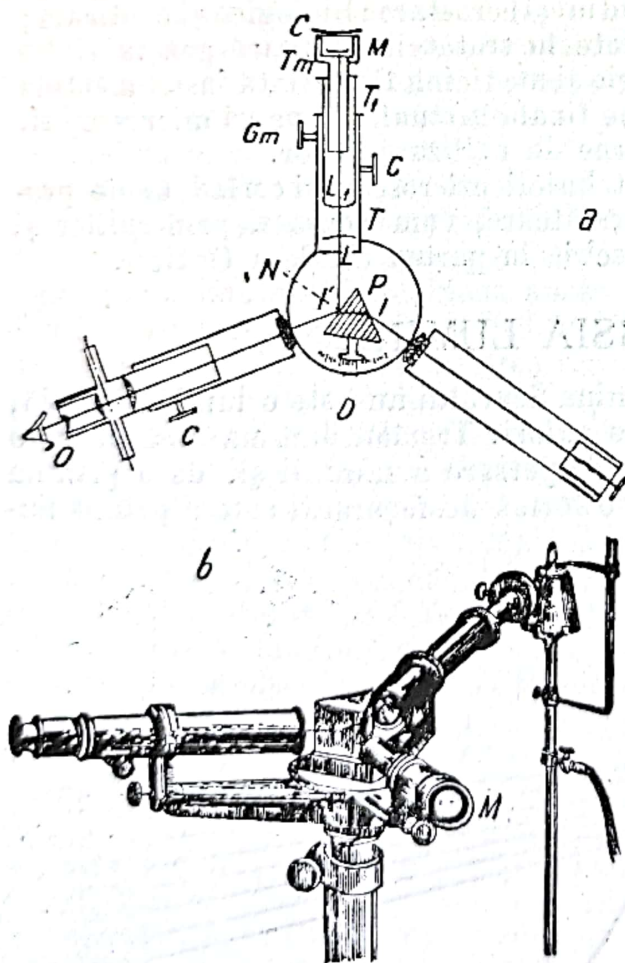
Primele spectroscopae au fost construite de B. W. Bunsen (1811 — 1899) și de R. Kirchhoff (1824 — 1887).

Un spectroscop (fig. 294) este compus în esență dintr-o prismă de sticlă care dispersează lumina, un colimator cu fantă prin care pătrunde lumina spre prismă și un tub ocular, cu care se observă spectrul. În afară de aceste

două tuburi, spectroscopul posedă și un al treilea tub, care cuprinde o scală și care este așezat astfel încât imaginea scalei se reflectă pe fața anterioară a prisme, fiind primită în tubul ocular în același timp cu spectrul care vine de la colimator prin refracție. Ambele imagini, cea obținută prin refracție și dispersie și cea reflectată, se suprapun, așa că observatorul le vede împreună și poate astfel determina poziția fiecărei părți a spectrului față de scală.

În general, în spectroscop, prisma este astfel așezată încât primește prin fanta colimatorului razele paralele, le refractă diferențial, după lungimea lor de undă și le trimite apoi tot paralel spre o lunetă-oculară.

Prisma se așază de obicei sub unghiul de deviere minimă, adică în poziția în care mersul razelor situate în planul perpendicular pe muchiile prisme (secțiunea principală) este simetric.



a — mersul razelor; b — construcția aparatului.

Fig. 294 — Spectroscop.

Fanta, a cărei mărime poate fi variată cu ajutorul unui șurub, este așezată în focarul unei lentile convergente l , pentru ca razele care vin de la sursa de lumină și trec prin colimator să fie îndreptate paralel spre prismă.

Ocularul este format dintr-o lunetă mobilă în plan orizontal în jurul prisme. Luneta are o lentilă convergentă (obiectiv) care primește razele paralele ce ies dispersate din prismă, și le strânge, pentru a da o imagine reală a spectrului. Această imagine se observă prin lentila convergentă (ocularul propriu-zis) de la partea dinspre observator a acestei lunete.

Scala micrometrică cuprinde diviziuni de la 4 000 la 8 000 angströmi și imaginea ei este transmisă printr-un tub colimator luminat de o altă sursă de lumină.

La spectrograf, în planul focal al obiectivului lunetei se află o placă fotografică.

2. SPECTROSCOP CU PRIVIRE DIRECTĂ

Se construiesc spectroscopice „de buzunar”, de format mic, la care avem un singur tub; cu aceste aparate, spectrul se vede în linie dreaptă. Se obține un astfel de aparat combinând două prisme una de crown și alta de flint, așezate una cumuchia în dreptul bazei celeilalte și tăiate de un astfel de unghi încît devierea medie a ambelor prisme să fie anulată; în acest caz, dispersia prisme de flint este aproape de două ori mai mare decît a celei de crown. Fasciculus luminos părăsește în partea mijlocie dispozitivul aproape în aceeași direcție în care a intrat. Prismele cu privire directă au fost construite pentru prima oară de fizicianul Amici (1768 — 1863), și de aceea spectroscopicele cu privire directă sînt de multe ori numite „prisme Amici”.

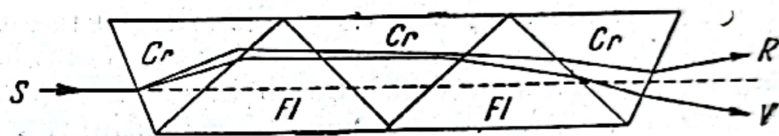


Fig. 295 — Mersul razelor în spectroscopul cu privire directă (5 prisme).

Un astfel de spectroscop constă din 3 sau 5 prisme (fig. 295). Suprafețele de contact ale prismelor sînt lipite cu balsam de Canada pentru a se evita, pe cît posibil, fenomenele de reflexie la această suprafață. Zona galbenă părăsește prisma aproape nedeviată, cea roșie este deviată în sus, iar cea violetă în jos. În spectroscopicele „de buzunar”, mult răspîndite în practica de laborator și de pe teren, o astfel de combinație de prisme este însoțită de o fantă reglabilă, un colimator cu lentilă și un mic tub care conține întregul sistem spectroscopic.

3. MONOCROMATORUL

Unul din mijloacele de a obține în cercetările de laborator lumina monocromatică este de a obtura partea spectrului care nu interesează, și de a lăsa să treacă printr-o fantă numai radiația necesară. Un asemenea aparat are totdeauna o scală de lungimi de undă, și se numește monocromator. Cu monocromatorul putem obține de fiecare dată altă lungime de undă, după nevoie, obturînd pe rînd regiunile corespunzătoare lungimilor de undă care nu sînt necesare.

Se poate obține o radiație de o anumită lungime de undă utilizînd un izvor luminos care emite numai lumină de acea lungime de undă.

O asemenea sursă mult întrebuințată este flacăra de alcool sau de gaz, colorată cu vapori de clorură de sodiu. Se ține în flăcără un fitil de azbest sau un bastonaș de oxid de magneziu care a fost îmbibat cu soluție de clorură de sodiu. În căldura flăcării, atomii din sarea volatilizată devin luminescenți (termoluminescență) și dau lumina galbenă; lumina sodiului nu este nici ea perfect monocromatică, deoarece este alcătuită din două lungimi de undă, foarte apropiate, corespunzând liniilor *D* din spectrul Soarelui. Azi se folosesc descărcările electrice în gazele zerovalente și în vapori metalici (Na, K, Cd, Hg), care dau o lumină mult mai puternică; în fiecare din ele predomină o anumită lungime de undă.

B. SPECTRELE

Spectrele se clasifică în două categorii: spectre de emisiune și spectre de absorbție.

1. SPECTRE DE EMISIUNE]

Spectrele de emisiune sînt date de substanțele incandescente sau luminescente. Ele pot avea un aspect continuu sau discontinuu.

a) **Spectrele continue.** Corpurile solide și lichide în stare incandescentă dau spectre continue. Aceste spectre conțin toate lungimile de undă ale regiunii vizibile a spectrului. Se obțin spectre continue emise și de gaze în anumite condiții. În prima epocă a studiului spectroscopic, s-a acordat puțină atenție spectrelor continue. În prezent se știe că ele constituie un aspect general care are importanță deosebită pentru teoria proceselor elementare legate de emisiunea luminii.

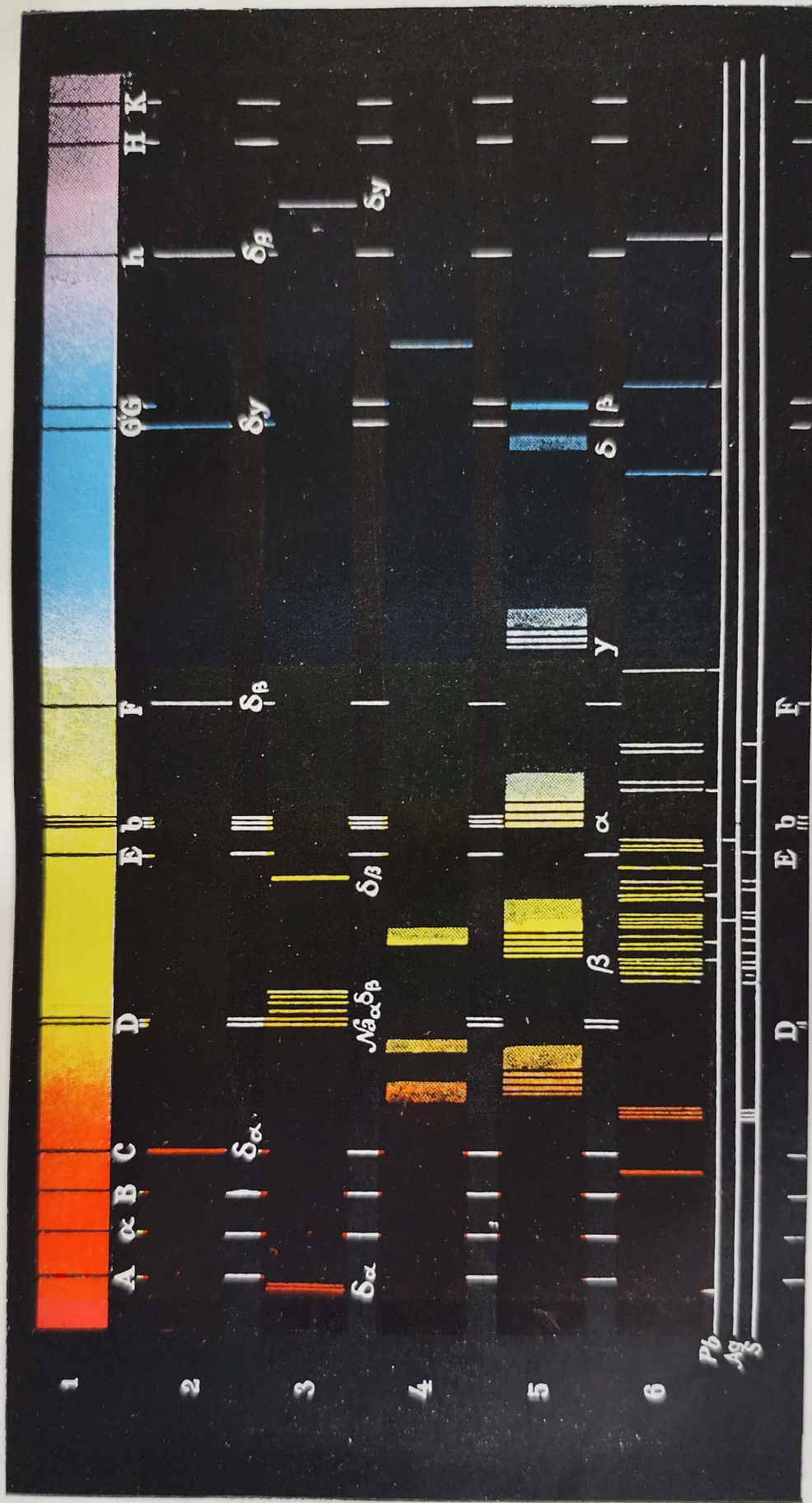
b) **Spectre discontinue.** Unele izvoare luminoase, cum sînt vaporii de sodiu, obținuți volatilizînd sodiul metalic în flacăra unui bec de gaz, dau o lumină de anumită lungime de undă. Această lumină de culoare galbenă se dovedește, la analiza spectroscopică, ca fiind formată aproape exclusiv din radiații de lungime de undă de 5 890 Å. Cercetarea acestor radiații cu aparate mai mari arată însă că linia de spectroscop numită linia *D* este alcătuită din două linii apropiate, de lungimile de undă $D_1 = 5\,895,932\text{ Å}$ și $D_2 = 5\,889,965\text{ Å}$, în aer uscat, la 15° și 760 mm Hg.

Și la descărcările electrice în gaze, ca și la descărcările prin arc sau prin scînteii, între electrozi de diferite metale, se observă spectre caracteristice: pe un fond negru, apar linii caracteristice de diferite culori. Aceste spectre se numesc spectre discontinue sau spectre de linii.

Bunsen și Kirchhoff au stabilit în 1859 că fiecare element chimic emite în anumite condiții un spectru anumit și caracteristic numai acelui element. Aceste cercetări stau la baza metodelor practice de cercetare și analiză a substanțelor cu ajutorul spectrului cum și a cercetărilor atomice moderne. Analiza spectrală este azi foarte utilizată pentru cercetări în toate domeniile, începînd de la astrofizică și pînă la fizica biologică și medicală. Pentru identificare s-au alcătuit tabele și atlasuri de linii spectrale care cuprind astăzi peste 100 000 de linii, cu indicațiile celor mai importante linii ale fiecărui element, linii de identificare, precum și devierile prin diferite coincidențe.

2. SPECTRE DE ABSORBȚIE

Dacă în calea razelor de lumină albă care intră într-un spectroscop se așază o sticlă colorată, dispăre din spectru o parte, ca și cum sticla colorată ar fi absorbit-o. Partea de spectru care a traversat sticla dă ochiului



nostru impresia culorii sticlei. Spectrul modificat prin absorbția unei părți a luminii albe de către corpul colorat se numește spectru de absorbție al corpului. Spectrul de absorbție a numeroase substanțe este caracteristic, așa că el poate fi folosit la identificarea lor.

Gazele incandescente și vaporii incandescenti dau spectre de absorbție caracteristice. Kirchhoff a stabilit că substanțele absorb radiațiile pe care le emit atunci când ele dau spectre de emisiune.

Spectrul Soarelui, al stelelor și cel al corpurilor incandescente solide par continue; totuși, din ele lipsesc părți: spectrele sînt străbătute de spații întunecoase. Liniile întunecoase descoperite în spectrul Soarelui au fost studiate de Fraunhofer. Ele sînt linii de absorbție și se datoresc faptului că în fața substanței solide și lichide incandescente, care alcătuiește Soarele, se află substanțe gazoase incandescente care absorb radiațiile emise de aceleași substanțe lichide și solide din Soare. Liniile lui Fraunhofer identificate în laborator arată că în atmosfera gazoasă a Soarelui se află substanțe care corespund acestor linii de absorbție. În tabelul 39 sînt date cîteva din principalele linii ale lui Fraunhofer.

Tabelul 39

Linia	Å	Substanța	Linia	Å	Substanța
A	7 593,8	O	C ₂	5172,7	Mg
a	7 184,5	H ₂ O	F	4861,3	Hβ
B	6 867,2	O	G	4307,7	Ca
C	6 462,8	Hα	h	4101,7	Hδ
D ₁	5 895,9	Na	H	3968,5	Ca
E	5 270,0	Fe	K	3933,7	Ca

O verificare experimentală arată că linia D a sodiului din spectrul de absorbție, de exemplu, corespunde cu linia emisă de vaporii de sodiu incandescenti din spectrul de linii respectiv. Perfecționarea aparatelor optice a făcut ca numărul liniilor lui Fraunhofer cunoscute pînă în prezent să atingă cîteva mii. Unele din ele sînt de origine terestră (de exemplu, A, a, B), și provin din absorbția în atmosferă; anumite benzi se datoresc umidității (așa-numitele „benzi de ploaie”).

C. SPECTROSCOPIA

În general, se cuprind sub denumirea de spectroscopie metodele de utilizare a rezultatelor cercetărilor spectrale în scopuri practice: în astronomie, biologie, chimie, medicină, tehnică etc.

Se folosesc în aceste determinări îndeosebi spectrele de absorbție.

1. SPECTROSCOPIA MEDICALĂ

Radiațiile percepute de ochiul nostru au următoarele lungimi medii de undă (în Å): roșu 7 600, portocaliu 6 000, galben 5 500, verde 5 000, albastru 4 800, indigo 4 300, violet 3 800.

În practica medicală se utilizează analiza spectrală în mai multe împrejurări. Se poate identifica prezența singelui în urină, în lichidul cefalorahidian, în diferite exsudate sau transsudate. Se poate determina dacă

o pată colorată este de sînge sau de substanță colorantă, ceea ce este foarte util în medicina judiciară. De asemenea se poate diagnostica o intoxicație cu oxid de carbon.

Căutarea singelui prin metoda spectroscopică, fie pentru scopuri clinice, fie pentru scopuri de medicină judiciară, se bazează pe următorul principiu: hemoglobina din sînge dă naștere anumitor combinații care prezintă spectre de absorbție caracteristice.

a) **Spectrul oxihemoglobinei.** Așezînd o cuvă cu fețe paralele, în care avem o cantitate de sînge arterial foarte diluat, în fața fantei unui spectroscop luminat de un puternic bec electric mat, și privind prin luneta oculară, se constată apariția a două benzi negre așezate între portocaliu și verde, și lăsînd între ele o bandă care cuprinde culorile galben-verde. În lungimi de undă, aceste benzi de absorbție au maximele, una lînga linia *D*, la $\lambda = 5\,770\text{ \AA}$, și cealaltă aproape de linia *E*, la $\lambda = 5\,450\text{ \AA}$.

Se caută sîngele în soluții, în urină de exemplu, căutînd să se pună în evidență spectrul oxihemoglobinei. În urină, benzile de absorbție ale singelui dispar însă după cîtva timp. În acest caz trebuie să se adauge cîteva picături de soluție de KOH 30% pentru a face să apară spectrul hemocromogenului și a demonstra astfel prezența singelui în urină.

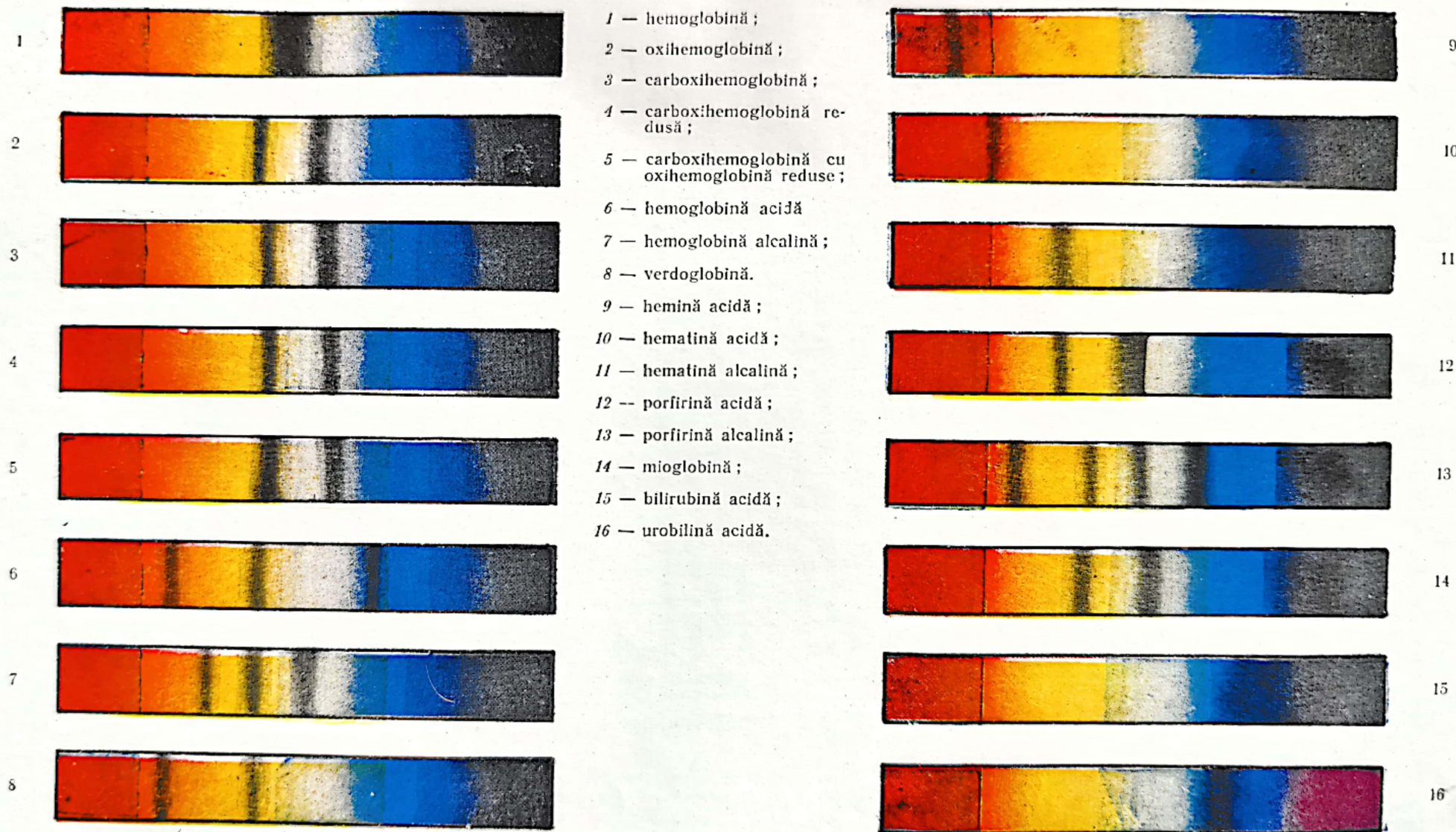
Spectrul oxihemoglobinei variază cu concentrația soluției sanguine: într-un strat de lichid gros de 1 cm, la o concentrație de 0,65%, cele două benzi de absorbție sînt unite într-una singură.

b) **Spectrul hemoglobinei reduse.** Hemoglobina redusă și sîngele venos, care nu a fost expus la aer, prezintă un spectru cu totul deosebit. Acesta este constituit dintr-o singură bandă întunecoasă (banda lui Stokes), care ocupă sensibil locul celor două benzi ale oxihemoglobinei, și în plus spațiul colorat care separă cele două benzi menționate (absorbția este maximă în regiunea cu $\lambda = 5\,000\text{ \AA}$). Se poate trece ușor de la spectrul oxihemoglobinei la spectrul hemoglobinei reduse turnînd cîteva picături dintr-un reductor (sulfhidrat de amoniu, sulfat feros) în eprubeta care conține soluția de oxihemoglobină.

c) **Spectrul carboxihemoglobinei.** Combinația dintre hemoglobină și oxidul de carbon, carboxihemoglobina, dă două benzi de absorbție sensibil identice celor date de oxihemoglobină; ele pot fi deosebite printr-o determinare precisă a lungimilor de undă ale benzilor. Se poate observa însă mai ușor diferența dintre oxihemoglobină și carboxihemoglobină folosind un reductor: în timp ce oxihemoglobina se reduce în hemoglobină cu dungile ei caracteristice, carboxihemoglobina, care se caracterizează tocmai prin stabilitatea ei, nu poate fi redusă, și spectrul nu se modifică; zona colorată care separă cele două benzi negre persistă, iar banda lui Stokes nu apare după reducere, dacă sîngele supus analizei spectroscopice a fost luat de la un subiect care a murit prin otrăvire cu oxid de carbon.

d) **Spectrul methemoglobinei.** Methemoglobina rezultă din transformarea hemoglobinei cu ajutorul unui oxidant energetic (clorat de potasiu, permanganat de potasiu). Methemoglobina se poate găsi în pete vechi de sînge, în vechi focare de extravazare sanguină și uneori în urină, în urma otrăvirii prin oxidanți puternici. Spectrul ei este caracteristic.

e) **Spectrul hemocromogenului.** Obținerea spectrului de absorbție a oxihemoglobinei cere o cantitate relativ importantă de substanță, fiindcă trebuie să se lucreze cu soluții de 20/100. Prima bandă de absorbție a spectrului hemocromogenului rezistă însă la diluții considerabile, și constituie unul din mijloacele cele mai sensibile pentru identificarea materiei colorante a singelui. Astfel, pentru a cerceta dacă o pată mică conține sînge, se



Spectre de absorbție ale substanțelor colorante din organism.

scot câteva fragmente cu ajutorul unui scalpел, se aşază pe lama de microscop, se adaugă o picătură de soluție de KOH 30% şi se examinează preparatul la microspectroscop. Dacă pata conține sînge, nici o bandă nu este la început vizibilă, căci reacția hemoglobinei este puțin sensibilă, dar, după jumătate de oră, oxihemoglobina se transformă în hemocromogen şi banda de absorbție a acestei substanțe apare foarte net.

f) **Spectrul hematoporfirinei.** Acest pigment, care apare în cantitate foarte mică în urina normală şi în cantitate considerabilă în anumite urini patologice sau după intoxicații cu sulfonal, dă un spectru foarte caracteristic, fie în soluție acidă, fie alcalină. Se caută mai ales spectrul hematoporfirinei în expertizele medico-judiciare pentru a se descoperi prezența singelui. Cîteva fragmente mici se aşază pe o lamă de microscop, se adaugă cîteva picături de acid sulfuric concentrat şi se acoperă preparatul cu o lamelă. Se observă la microspectroscop un frumos spectru al hematoporfirinei acide. Preparatul poate fi inclus în parafină şi păstrat ca piesă justificativă.

2. APLICAȚII BIOLOGICE

În biologie prezintă un interes deosebit studiul spectrului de absorbție al clorofilei. În procesul de descompunere a bioxidului de carbon din aer de către clorofila din plante, sub acțiunea luminii, nu toate radiațiile sînt la fel de potrivite pentru a declanșa această funcție clorofiliană care fixează carbonul din aer. Spectroscopia a arătat că radiațiile care corespund benzilor de absorbție a clorofilei sînt cele mai eficace. Se disting două grupe principale, unul mergînd de la galben la roșu, altul cuprinzînd albastrul şi violetul cu toate radiațiile actinice. Se verifică experimental faptul că radiațiile absorbite de clorofilă din spectrul luminii albe sînt tocmai radiațiile active, făcînd să cadă lumina după filtrare printr-o soluție de clorofilă, pe o frunză verde introdusă într-o soluție apoasă de CO_2 . Se observă că reducerea CO_2 cu eliberare de oxigen nu se mai produce. Suprimarea radiațiilor actinice şi calorifice a oprit deci funcția clorofilei.

V. LUMINA POLARIZATĂ

Din teoria electromagnetică a luminii, formulată de Maxwell, reiese că undele luminoase sînt unde transversale. Cîmpul electric şi cel magnetic sînt perpendiculare pe raza de lumină. Caracterul transversal al undelor luminoase a fost stabilit încă înainte de a se fi precizat natura lor electromagnetică.

A. POLARIZAREA LUMINII

Ca mijloc de cercetare experimentală a formei transversale a undelor luminoase poate servi un sistem asimetric, cum este de exemplu un cristal ai cărui atomi formează o rețea spațială astfel aşezată încît cristalul are proprietăți deosebite în diferite direcții, adică este anizotrop. Un astfel de cristal este spatul de Islanda (carbonat de calciu cristalizat în romboedri, din sistemul hexagonal).

Spatul de Islanda este birefringent. Această proprietate a spatului de Islanda a fost descoperită în 1670 de Erasmus Bartholinus şi studiată de

Christian Huyghens în 1690. Huyghens descoperă că spatul de Islanda are proprietatea de a da prin refracție o imagine dublă și că fiecare din cele două raze refractate de un cristal de spat de Islanda se comportă diferit la trecerea printr-un alt cristal de aceeași fel. În adevăr, fiecare din cele două raze se dedublează din nou în al doilea cristal, dar dă două raze de intensități diferite. Dacă se dă o rotire unuia din cele două cristale, una din razele refractate a doua oară slăbește pînă ce dispăre, apoi apare din nou slabă și se accentuează, în timp ce cealaltă rază începe să slăbească pînă

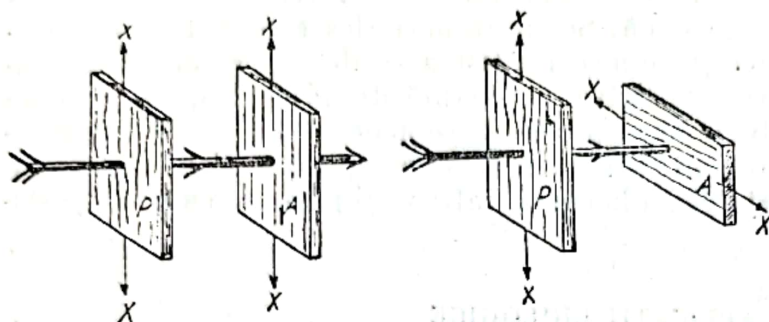


Fig. 296 — Cristale de turmalină așezate cu axele XX' paralele și perpendiculare.

dispare. La anumite poziții se vede numai una din raze, cealaltă fiind complet stinsă.

Fenomenul a fost numit „polarizare” de Malus în 1810, sub influența ideilor lui Newton, care credea că fenomenul se datorește unei analogii între particulele luminoase și niște magneti

mici ai căror poli stabilesc o direcție de preferință pentru propagarea razei de lumină.

Polarizarea luminii a format obiectul studiilor timp îndelungat. Cîteva experiențe clasice arată limpede decurgerea fenomenului.

Dacă se taie dintr-un cristal de turmalină o lamă T_1 (fig. 296), paralel cu una din direcțiile rețelei cristaline, numită axă, și se trimite normal pe suprafața acestei lame o rază de lumină, nu se observă la rotirea cristalului în jurul direcției razei nici o variație în intensitatea luminii: unda luminoasă incidentă pe cristal nu arată existența vreunei asimetrii în această direcție de propagare.

Dacă așezăm însă în calea razei de lumină și o altă lamă T_2 de turmalină, identică cu prima, intensitatea luminii care traversează ambele lame variază în funcție de orientarea lor reciprocă. Intensitatea este maximă cînd axele ambelor lame cristaline sînt paralele, și este nulă, adică lumina nu trece de loc, cînd axele sînt perpendiculare; lumina are valori intermediare pentru pozițiile intermediare ale lamelor.

1. POLARIZAREA PRIN REFLECȚIE

Polarizarea luminii are loc și prin reflecție. Fenomenul a fost descoperit întîmplător, în 1810, de Malus, în timp ce privea printr-o lamă cristalină lumina reflectată în geamurile unei clădiri. Observînd că intensitatea luminii reflectate de aceste ferestre crește și descrește periodic la rotirea continuă a cristalului în jurul axei, el a asemănat reflexia de pe sticlă cu fenomenul constatat la trecerea luminii printr-un cristal de turmalină. Fenomenul poate fi studiat, fie cu o oglindă care are rolul de polarizator și un cristal de turmalină ca analizor, fie invers, fie cu două oglinzi. În acest din urmă caz folosim drept oglinzi lame de sticlă neargintate, de preferință sticlă neagră sau marmură neagră bine șlefuită.

Experiența arată că, dacă o rază de lumină naturală, de lumină solară de exemplu, cade pe oglinda M (fig. 297) și se reflectă, după legile reflecției, dînd pe un ecran E o pată luminoasă, oricît am învîrti oglinda împreună cu

ecranul în jurul direcției razei incidente SI , pata luminoasă va avea aceeași intensitate. Aceasta arată că lumina naturală este identică în toate planurile (în toate azimuturile). Dacă primim însă raza reflectată pe o a doua oglindă M' , vom avea pe ecranul E o pată luminoasă, ca și în cazul reflectării într-o singură oglindă, însă numai în cazul când cele două oglinzi sînt paralele. Învîrtind oglinda M' în jurul direcției razei care pleacă de la prima oglindă spre a doua, se constată că pata de lumină de pe ecran nu mai are mereu aceeași intensitate, și deci că lumina naturală, după prima reflecție, și-a schimbat însușirile. În adevăr, ori de cîte ori planul oglinzii M' este paralel cu planul oglinzii M , pata luminoasă are intensitatea maximă, pe cînd, atunci cînd aceste plane sînt perpendiculare, pata de lumină are după a doua reflecție o intensitate minimă. La 180° și la 360° avem deci lumină maximă, iar la 90° și 270° intensitate minimă (fig. 298).

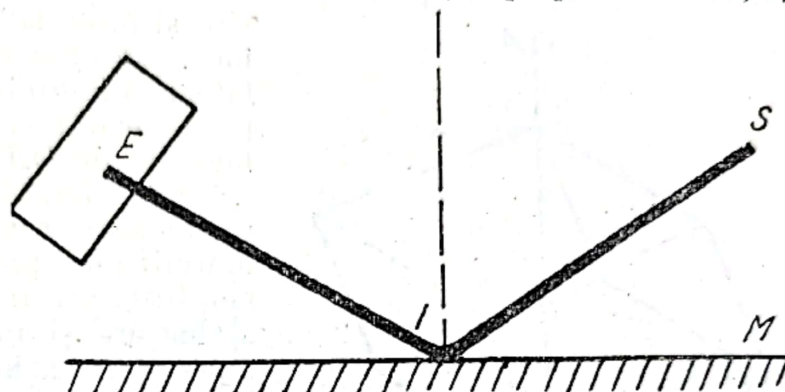


Fig. 297 — Lumina naturală este identică în toate azimuturile.

Fresnel formulează ipoteza următoare pentru a explica de ce prima oglindă lasă să treacă spre cea de-a doua numai vibrațiile din planul ei: oglinda a polarizat lumina naturală, așa că lumina reflectată este polarizată în planul oglinzii M . Numai cînd oglinda M' este paralelă cu M , ea poate primi și reflecta mai departe lumina. Prima oglindă constituie deci polarizorul, iar a doua analizorul prin reflecție.

Polarizarea luminii prin reflectarea pe o oglindă este necompletă, fiindcă la 90° și 270° nu dă extincție, ci un minimum de lumină. Raza reflectată este deci un amestec de lumină naturală și lumină polarizată. Putem varia proporțiile în care se află în raza reflectată lumina naturală și cea polarizată făcînd să varieze unghiul de incidență φ . Se constată că fracțiunea de lumină polarizată crește cu φ , așa că, pentru o anumită valoare a lui φ , lumina reflectată este aproape complet polarizată. Mărima acestui unghi

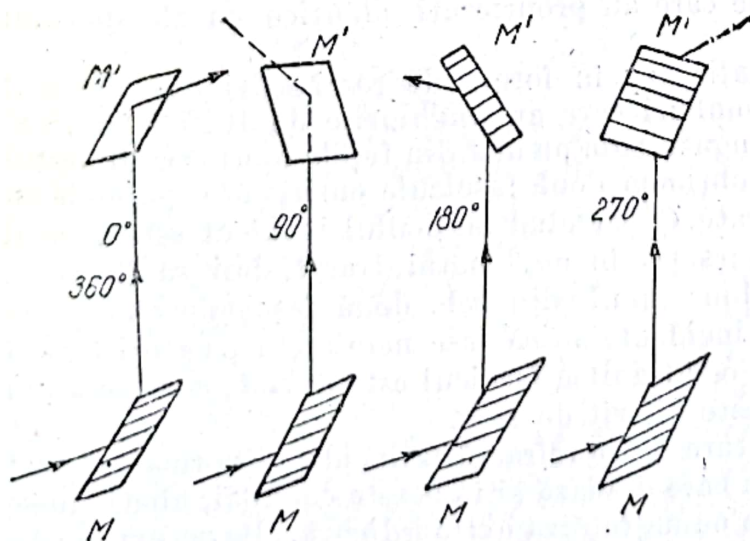


Fig. 298 — Polarizarea luminii prin reflecție.

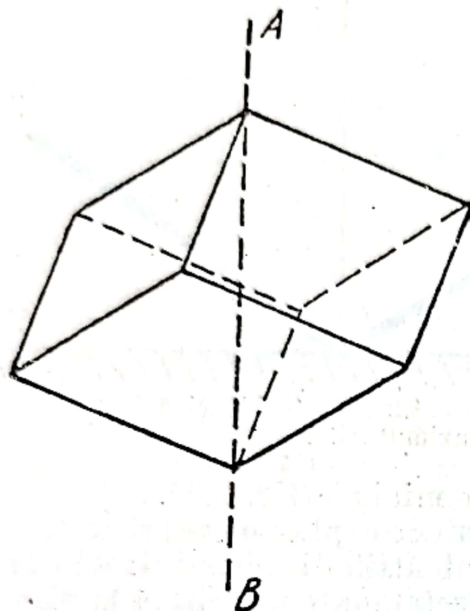
φ , care dă o polarizare aproape completă, depinde de indicele de refracție n al substanței și este dat de relația stabilită de Brewster în 1815: $\text{tg } \varphi = n$, relație care exprimă legea lui Brewster.

Dacă unghiul de incidență crește mai departe, proporția de lumină polarizată se micșorează din nou.

Cercetări numeroase au dus la concluzia că direcția de vibrație a lu-

minii complet polarizate prin reflecție este perpendiculară pe planul care cuprinde raza incidentă, normala și raza reflectată, deci pe planul de incidență. La o polarizare parțială, această direcție este cea care predomină, cu toate că în lumina parțial polarizată sînt reprezentate și oscilații în alte direcții, perpendiculare pe raza de lumină.

Dacă lumina naturală trece prin două dispozitive de polarizare, ale căror plane formează între ele un unghi φ , intensitatea luminii care trece prin ambele sisteme este proporțională cu $\cos^2 \varphi$. Legea aceasta a fost descoperită și formulată de Malus în 1810: ea încadrează fenomenul în concepția ondulatorie a luminii. Legea a fost confirmată prin măsurători fotometrice deosebit de îngrijite de D.F. Arago (1790–1856).



AB — axa optică.

Fig. 299 — Romboedru de spat de Islanda (CaCO_3).

Considerată ca o demonstrație experimentală a afirmației că intensitatea luminii este proporțională cu pătratul amplitudinii undei luminoase, legea lui Malus are și importanță practică, prin faptul că stă la baza calculării intensității luminoase a fasciculului care a traversat polarizorul și analizorul în diferitele aparate de polarizare.

2. POLARIZAREA PRIN REFRACTIE

a) **Birefrința.** Cele mai numeroase aparate de polarizare se construiesc cu ajutorul cristalelor de spat de Islanda. Aceste cristale se găsesc în stare naturală sub formă optic pură și în exemplare de

dimensiuni apreciabile. La ele a fost observat de Bartholinus (1670) fenomenul de birefrință, iar 1690, de Huyghens, fenomenul de polarizare a luminii, care este în legătură strînsă cu dubla refracție.

Spatul de Islanda a rămas pînă astăzi cea mai potrivită substanță pentru studiul și demonstrarea fenomenelor de polarizare, cum și pentru aplicarea lor în polarimetrie, deși în prezent se cunosc foarte numeroase cristale naturale și artificiale care au proprietăți identice cu ale spatului de Islanda.

Spatul de Islanda cristalizează în formă de romboedri din sistemul exagonal. Fețele sale sînt romburi care au unghiurile de $101^\circ 52'$ și $78^\circ 8'$ (fig. 299). Dacă un fascicul îngust cade pe una din fețele unui cristal destul de gros de spat de Islanda, obținem două fascicule emergente, paralele cu cel incident și complet separate. Chiar cînd fasciculul incident este normal pe fața cristalului, și deci refracția în mod natural ar trebui să fie nulă, fasciculul emergent este dublu: unul din cele două fascicule emergente constituie prelungirea celui incident, adică iese nereflectat, ca orice rază de lumină naturală, în timp ce al doilea fascicul este deviat, ceea ce arată că unghiul său de refracție este diferit de zero.

Din această cauză, raza care nu se refractă la incidență normală a fost numită rază ordinară, iar cea care deviază și în aceste condiții, abătîndu-se deci de la legile refracției, se numește rază extraordinară. Raza extraordinară și raza ordinară au indici de refracție deosebiți (fig. 300).

Numai pentru o singură direcție, cristalul de spat nu prezintă dublă refracție, raza incidentă propagându-se în cristal cu aceeași viteză ca în cristalele izotrope (cristalele cubice de clorură de sodiu, de exemplu). Această direcție este paralelă cu diagonalele care unesc unghiurile obtuze ale romboedrului, și se numește axa optică a cristalului. Verificarea se poate face ușor șlefuiind cele două colțuri obtuze opuse, astfel ca să avem două fețe paralele obținute artificial (fig. 301), normale pe axa optică. Proiectând un fascicul de lumină perpendicular pe aceste suprafețe obținute prin șlefuire, raza va trece prin cristal fără a se desface în două. Dacă aceste suprafețe șlefuite sînt destul de mari pentru ca să putem deplasa normal pe ele raza de lumină, constatăm că direcțiile normale posedă în orice loc pe aceste suprafețe proprietățile axei optice. Deci, axa optică a cristalului este o direcție în rețeaua cristalină, iar nu o linie.

Orice plan care trece prin axa optică se numește plan principal al cristalului.

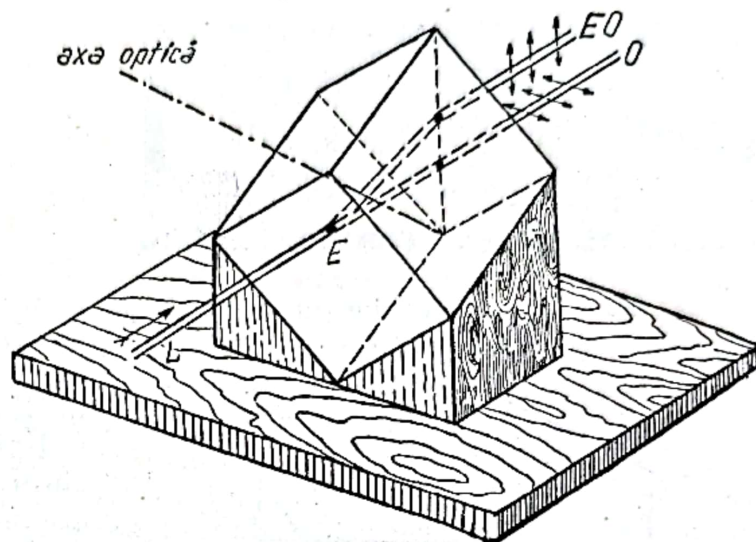
Revenind la direcțiile de dublă refracție într-un cristal birefringent (fig. 302), trebuie să arătăm că, dacă rotim cristalul în jurul razei de incidență normală, una din razele refractate, cea ordinară, rămîne nemișcată, iar cealaltă descrie în interiorul cristalului un con în jurul primei raze. Dintre razele emergente, cea ordinară este imobilă la această rotire în jurul razei de incidență normală, pe cînd cea extraordinară descrie un cilindru, avînd drept axă raza ordinară.

La ieșirea lor din cristal, ambele raze sînt cu totul asemănătoare, în afară de direcțiile planurilor lor de polarizare. În adevăr, examinînd razele

emergente cu ajutorul turmalinei sau al unui analizor-oglină, se constată că ambele raze sînt complet polarizate, și anume în două plane perpendiculare între ele.

Vibrațiile razei ordinare se fac normal pe planul principal al cristalului, pe cînd cele ale razei extraordinare se fac chiar în acel plan.

Indicele de refracție al razei ordinare și al celei extraordinare, la cristalele birefringente,



L — raza de lumină naturală; *EO* — raza extraordinară; *O* — raza ordinară.

Fig. 300 — Dubla refracție prin spatul de Islanda.

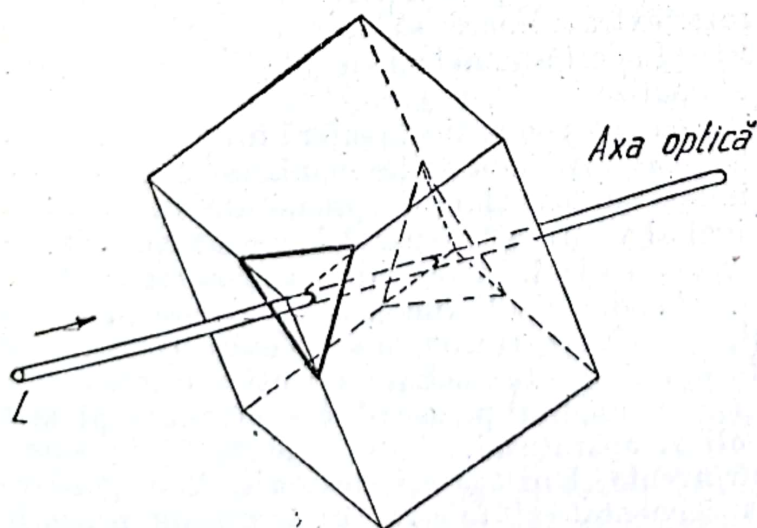


Fig. 301 — Axa optică a cristalului de spat de Islanda.

pot varia mult între ele. La spatul de Islanda $n_o = 1,658$, în timp ce n_e poate lua toate valorile între 1,486 și 1,658, după direcția razei în cristal. Această mare diferență face să se întrebuițeze cu preferință cristalele de spat la obținerea separată a celor două raze polarizate în planuri perpendiculare între ele.

Pentru a putea lucra numai cu una din cele două raze polarizate se poate folosi o diafragmă ca în fig. 303. Obținând unul din cele două fascicule emergente, putem obține fasciculul celălalt. Procedul nu este însă lesnicios, mai



Fig. 302 — Imaginile printr-un cristal birefringent.

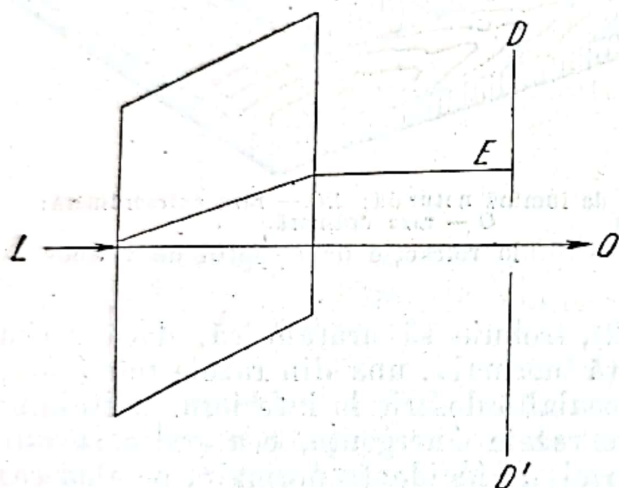


Fig. 303 — Prin diafragma DD' trece numai raza ordinară O .

se face în așa chip încât raza extraordinară să iasă din cristal paralel cu latura $A'C$. Un astfel de cristal poartă numele de nicol și poate fi folosit, atât ca polarizor, cât și ca analizor.

O rază de lumină naturală, căzând pe un nicol, suferă o dublă refracție, așa cum s-a arătat; raza emergentă are vibrațiile în planul principal (în planul figurii). Dacă se primește această lumină polarizată pe un nicol analizor și dacă planul principal al acestuia este paralel cu cel al polarizorului, vibrațiile se pot face și în acest nicol, așa că lumina poate trece. Dacă însă planele principale ale celor doi nicoli sînt perpendiculare între ele, adică nicoli sînt încrucișați, lumina nu trece: are loc extincția luminii în aparatul de polarizare. În pozițiile intermediare se obține o intensitate luminoasă variabilă, în funcție de unghiul pe care-l fac între ele planele principale ale celor doi nicoli ai aparatului.

c) Alte dispozitive birefringente. Din aceeași categorie de dispozitive de polarizare s-au mai experimentat și folosit, în afară de prismele lui Nicol, și prismele lui Foucault, la care tăierea este astfel făcută încît

ales în aparatele de uz curent, și de aceea se folosesc diferite dispozitive practice: prismele de polarizare, prismele birefringente și plăci dielectrice.

Dintre aceste, cele mai curen-te dispozitive sînt nicolii.

b) Nicolii. Din cele două raze polarizate în planuri perpendiculare între ele, Nicol a reușit (în 1841) să elimine raza ordinară printr-o tăiere a cristalului după planul AA' (fig. 304) și lipirea la loc a celor două porțiuni cu balsam de Canada, care are indicele de refracție $n=1,550$, deci între n_o și n_e .

Raza ordinară întâlnește stratul de balsam care se află în planul ei de vibrație, se reflectă total, dacă cristalul a fost tăiat în mod convenabil, și este absorbită de pereții negri interiori ai aparatului. În același timp, raza extraordinară traversează stratul de balsam și iese din cristal, vibrațiile ei făcându-se într-un plan perpendicular pe planul AA' . Tăierea cristalului

reflecția totală a razei ordinare se face pe un strat de aer. Aceasta constituie un avantaj, fiindcă prisma Foucault poate fi folosită și în lumina ultravioletă, neavând stratul de balsam de Canada, care absoarbe radiațiile ultraviolete.

A mai fost folosită și o prismă de spat și sticlă (fig. 305).

Axa optică a spatului este perpendiculară pe planul figurii; indicele de refracție minim al razei extraordinare, fiind 1,486, este foarte apropiat de cel al sticlei ($n = 1,49$). Raza ordinară se refractă în spat și în sticlă de două ori și este puternic deviată. Raza extraordinară iese aproape nedeformată și poate fi utilizată.

Din aceeași categorie de dispozitive se construiește prisma de spat formată din două jumătăți, cu orientarea axei optice diferită; aceasta are drept efect divergența razelor emergente și posibilitatea folosirii numai a uneia din ele.

d) **Cristale dicroice.** Din cristalele dicroice face parte turmalina, care este un cristal birefringent. La turmalină, raza ordinară este mult mai puternic absorbită decât cealaltă; de aceea, cele două raze emergente ies din lama de turmalină cu intensități foarte diferite, dând o lumină parțial polarizată. Dacă lama de turmalină este mai groasă de 1mm, raza ordinară este complet absorbită pentru lumina vizibilă, așa că avem o singură rază emergentă, care este polarizată. Deoarece și raza extraordinară prezintă absorbție pentru anumite lungimi

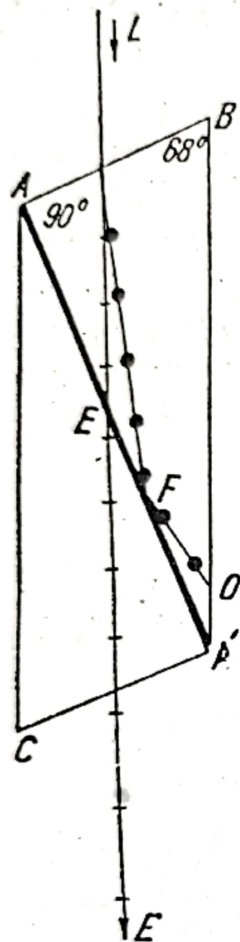


Fig. 304 — Nicol (secțiune).

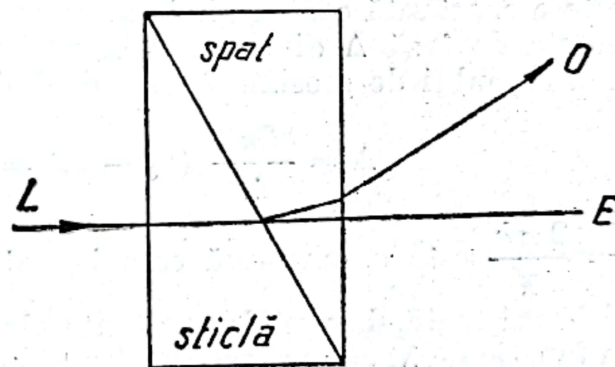


Fig. 305 — Prisma de spat și sticlă.

de undă, turmalina apare colorată; acest cristal este deci și polarizor și filtru, dând numai lumină galbenă-verzuie. Absorbția diferențială are drept efect faptul că, privit din diferite direcții, cristalul apare colorat diferit. Fenomenul se numește dicroism (colorație dublă) sau pleocroism (colorație multiplă). Într-o măsură mai mare sau mai mică, fenomenul este comun tuturor cristalelor birefringente.

e) **Polaroizi.** Substanțele dicroice au căpătat importanță practică prin inventarea unor dispozitive numite polaroizi, formate din lame subțiri de cristale dicroice. O peliculă de sulfat de iodochinină de 0,1 mm grosime absoarbe practic complet una din cele două raze și este un polarizor perfect, chiar în straturi atât de subțiri. Această substanță, obținută în 1852 de Herapath, a fost numită herapatită.

În prezent se acoperă suprafețe întinse cu mici cristale de herapatită uniform orientate, care devin astfel un dispozitiv de polarizare de mare suprafață. Se fabrică de asemenea plăci dicroice de tipul polaroizilor, care

-folosesc diferite substanțe cu însușirile herapatitei; acestea constituie un polarizor ușor de obținut, care dispune de suprafețe de câțiva decimetri pătrați. Una din aplicațiile practice ale polarizorilor este apărarea conducătorilor de autovehicule contra acțiunii orbitoare a farurilor. Aplicând polarizorii pe geamul din față al automobilului, la nivelul vederii, astfel ca planul principal al polaroidului să facă un unghi de 45° cu orizontul, șoferul poate vedea calea luminată de farurile sale fără a suferi efectul orbitor al farurilor mașinilor care-i ies în cale.

f) **Dubla refracție artificială.** Birefringența se poate obține și artificial. Încă la începutul secolului trecut s-a descoperit dubla refracție a corpurilor izotrope transparente supuse unor deformări mecanice. Sub influența unor atare deformări apare o anizotropie optică, ce se poate pune în evidență cercetând corpul între nicolii încrucișați. Dacă se execută o tracțiune sau o compresiune asupra unui corp în lungul unei anumite direcții, apare în el o anizotropie optică echivalentă cu anizotropia unui cristal uniax având axul optic în direcția după care se face tracțiunea sau compresiunea.

Raza ordinară și cea extraordinară apar într-o direcție perpendiculară fără să se separe, dar au viteze diferite. Experiența arată că diferența dintre indicii de refracție ai celor două raze, deci și a vitezei de propagare a razelor în mediul considerat, este proporțională cu presiunea p la care este supus corpul deformat.

Această proprietate poate fi redată de expresia

$$n_o - n_e = kp,$$

unde k este o constantă care depinde de proprietățile substanței.

Diferența de fază Δ dintre raza ordinară și cea extraordinară, după traversarea corpului de grosime l , este dată de relația

$$\Delta = \frac{2\pi l}{\lambda} (n_o - n_e) = c p l,$$

unde $c = \frac{2\pi k}{\lambda}$ este o constantă care ia valori pozitive sau negative și care înglobează toate elementele constante ale expresiei. Datorită variației lui Δ în funcție de λ , cîmpul iluminat apare colorat la deformare, în mod analog cu colorația ce se observă la polarizarea cromatică dată de unele cristale naturale.

Dubla refracție se menține și după ce încetează acțiunea forței deformante. Dubla refracție artificială este folosită în practică pentru studiile deformațiilor în modele transparente în care tensiunea este cunoscută: după culoarea care apare între nicoli se evaluează tensiunea obiectului modelat ce dă aceeași culoare. Această *metodă fotoelastică* este foarte răspîdită în prezent.

Dubla refracție de curgere se observă la unele lichide la care viteza de curgere variază în diferitele regiuni. Dacă lichidul curge laminar între pereții a doi cilindri coaxiali, dintre care unul este fix și altul în rotație, lichidul devine anizotrop din punct de vedere optic, anizotropia fiind dată de mărimea diferenței Δn a indicilor de refracție ai razei ordinare și extraordinare și de unghiul α format de axul optic al lichidului cu direcția curentului.

Anizotropia unui lichid omogen într-un curent este provocată de tensiuni mecanice și este analogă birefringenței provocate corpurilor solide prin deformare mecanică, așa cum am arătat mai înainte.

Dacă lichidul cuprinde particule anizotrope, dubla refracție este datorită acestora. Dubla refracție apare și dacă particulele sînt izotrope, dar nu dizolvate, de exemplu macromoleculele organice. Apariția anizotropiei optice într-un curent a fost studiată de V. N. Tvetkov la polimerii care servesc la fabricarea cauciucului sintetic și a substanțelor plastice.

În lichidele în care se produc vibrații ultrasonore apare de asemenea dubla refracție. Fenomenul se reduce, în principiu, la deformarea mecanică provocată de tensiunile în lichid.

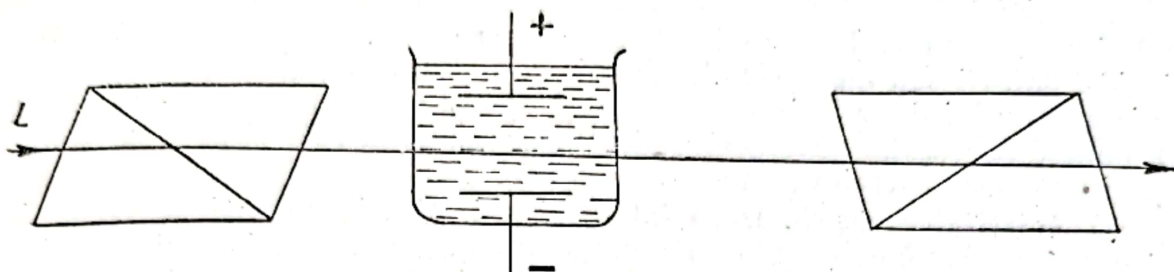


Fig. 306 — Dubla refracție în câmp electric.

g) **Anizotropia electrică.** În fine, anizotropia care apare la corpuri aflate într-un câmp electric constituie un alt exemplu de anizotropie artificială. Descoperită la 1875 de Kerr, această anizotropie poartă numele de efectul Kerr.

Pentru prima oară, dubla refracție în câmp electric a fost observată în dielectricii solizi, așezați între armăturile unui condensator încărcat. Această influență a fost stabilită precis după ce Kerr a descoperit efectul în lichide. În 1930, dubla refracție sub influența câmpului electric a fost descoperită și la gaze.

Efectul Kerr a fost amintit la înregistrarea fotografică a sunetelor pe film.

Așezînd între nicolii N_1 și N_2 aflați la extincție (fig. 306) un recipient în care sînt introduse armăturile unui condensator plan, se observă că la încărcarea condensatorului lumina trece prin nicoli, deși aceștia sînt încrucișați. Lichidul aflat în câmpul electric capătă astfel proprietățile unui cristal uniax cu axa orientată în lungul câmpului. Experiența arată că diferența dintre indicii n_o și n_e este proporțională cu pătratul intensității E a câmpului. Diferența de fază Δ care apare între raza ordinară și cea extraordinară este

$$\Delta = B \cdot l \cdot E^2,$$

unde l este grosimea stratului de lichid, iar B este o constantă pozitivă sau negativă, care depinde numai de natura lichidului și se numește constanta lui Kerr. Nitrobenzenul are cea mai mare constantă Kerr, și anume

$$B = 2.10 \cdot 10^{-5} \text{ CGSes.}$$

Efectul Kerr se explică prin acțiunea de orientare pe care o exercită câmpul electric asupra moleculelor anizotrope ale lichidelor, acțiune determinată, fie de prezența în molecule a unui moment electric constant (molecule dipolare), fie de momentul capătat în câmpul exterior. Fenomenul Kerr se caracterizează printr-o lipsă de inerție remarcabilă, timpul în care molecula se orientează în câmpul electric exterior nedepășind 10^{-9} s, ea revine în același interval de timp la starea neorientată după încetarea câmpului.

Absența practică de inerție a efectului Kerr permite — așa cum am mai arătat — folosirea celulei Kerr ca obturator fără inerție, în televiziune, în aparatele sonore de cinema, la măsurarea vitezei luminii, în scopuri de laborator etc.

3. POLARIZAREA ROTATOARE

La cristalele de cuarț, propagarea luminii se face în direcția axei optice, la fel ca într-un mediu omogen; lumina polarizată, propagându-se într-un astfel de cristal, în direcția axei optice, își rotește însă planul de polarizare. Fenomenul se întâlnește la numeroase alte cristale și la unele lichide, soluții sau topituri; el a primit numele de polarizare rotatoare sau rotirea planului de polarizare. Substanțele care rotesc planul de polarizare se numesc substanțe optic active, iar însușirea de a roti planul de polarizare se numește activitate optică.

a) **Activitatea optică.** Dacă între cei doi nicoli, așezați la extincție, introducem o lamă de cuarț tăiată perpendicular pe axa optică și o așezăm astfel încât axa aparatului de polarizare să coincidă cu axa optică a cristalului, constatăm că, deși nicolii sînt încrucișați nu mai avem în aparat extincție, ci lumină. Pentru a obține din nou extincție trebuie să rotim analizorul de un anumit unghi, fie spre dreapta, în sensul mersului acelor de ceasornic (și atunci cristalul se numește dextrogir), fie spre stînga, în sens contrar celui arătat mai înainte (și în acest caz cristalul se numește levogir). Totul se întîmplă ca și cum lama de cristal ar fi rotit planul de polarizare a luminii de un unghi egal cu cel pe care l-am dat noi analizorului pentru a stinge din nou lumina în aparat. Cristalele de cuarț dextrogire și levogire, cristalele de tartrat de sodiu dextrogire și levogire etc. se deosebesc între ele și după forma lor cristalină exterioară: cele dextrogire sînt imaginea în oglindă a celor levogire (cristalele sînt enantiomorfe).

Pentru substanțele organice, s-a formulat teoria asimetriei în interiorul moleculei, teorie care admite existența carbonului asimetric, ale cărui patru valențe sînt satisfăcute fiecare cu alt fel de grup de atomi.

Din punctul de vedere al teoriei electronice, primele încercări de a explica activitatea optică au constatat din presupunerea că într-o moleculă optic activă există legături care sub influența unei luminoase fac ca electronii să se miște după traectorii elicoidale. În cristalele de cuarț, atomii de siliciu și cei de oxigen ar fi așezați pe linii elicoidale. Mai tîrziu s-a explicat rotirea planului de polarizare prin prezența moleculelor anizotrope, care nu au centru de simetrie, nici plan de simetrie.

b) **Puterea rotatoare specifică.** Unghiul de rotație depinde de substanță, de grosimea stratului pe care-l străbate raza de lumină, precum și de lungimea de undă a luminii. De aceea, determinările se fac totdeauna la soluții în tuburi de aceeași lungime (de obicei 10 cm) și în aceeași lumină de obicei în lumina galbenă a sodiului (D).

Fiecare substanță optic activă are o putere rotatoare specifică ce se notează cu litera α între paranteze pătrate și avînd ca indici temperatura și lungimea de undă în care se lucrează: $[\alpha]_{\lambda}^t$.

Fenomenul de polarizare rotatoare are aplicații practice numeroase în industrie, în tehnică, în biologie și medicină, în cercetările științifice. Metoda de folosire a luminii polarizate se numește *polarimetrie*, iar aparatele pentru măsurarea unghiului de rotație se numesc *polarimetre*.

B. APARATE PENTRU MĂSURAREA UNGHIULUI DE ROTATIE

1. POLARIMETRUL CU PENUMBRA

Mărimea unghiului de rotație depinzând de concentrația substanței optic activă din soluția traversată de lumina polarizată, polarimetrul servește în practică la determinarea concentrației anumitor soluții.

Polarimetrele folosite la determinarea concentrației soluțiilor de zahăr se numesc zaharimetre, iar cele care servesc la determinarea glucozei și albuminei în urină se numesc urometre.

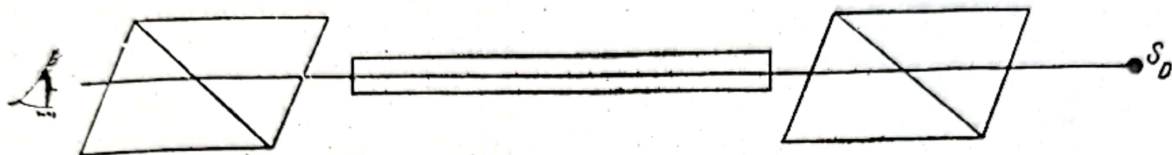


Fig. 307 — Schema polarimetrului.

În principiu, polarimetrul cel mai simplu (fig. 307) este alcătuit din doi nicoli, între care se află un tub lung de 10 cm ce conține soluția; tubul este închis cu două lame de sticlă plan-paralele, fără ca între soluție și lamele de închidere să existe bule de aer. Nicolii fiind așezați la extincție înainte de introducerea tubului cu soluția optic activă, observăm că îndată ce am introdus soluția, cîmpul aparatului se luminează.

Pentru a obține din nou extincția, rotim nicoul analizor cu un unghi anumit. Acesta este unghiul de rotație α al soluției cu care lucrăm.

Deoarece extincția nu poate fi observată cu destulă precizie, se întrebuițează polarimetrul cu penumbră, cunoscut și sub numele de polarimetrul Laurent. La un polarimetru cu penumbră, polarizorul este construit dintr-o prismă Nicol, care se taie după două planuri simetrice față de planurile secțiunii principale (fig. 308). Cristalul a are secțiunea principală DB . El se taie după planele DX_1 și DX_2 , care fac câte un unghi mic α (de $2,5^\circ$) cu secțiunea principală. Se lipesc apoi cele două părți de nicol rămase, după eliminarea părții cuprinsă între X_1D și X_2D (partea hașurată din figură). Se obține astfel un nicol de formă nouă (b). Secțiunea acestei noi prisme are forma unui romb deformat, spre deosebire de cea inițială, care avea formă de romb regulat; noul nicol are pentru jumătatea din stînga planul secțiunii principale în partea dreaptă, la o distanță unghiulară α , iar pentru jumătatea dreaptă, planul principal la stînga, la aceeași distanță α . Secțiunile principale ale celor două jumătăți fac deci între ele un unghi virtual $\beta = 2\alpha$.

Analizorul este, la aparatul cu penumbră, un nicol obișnuit.

Cînd planul de polarizare al analizorului este perpendicular pe una

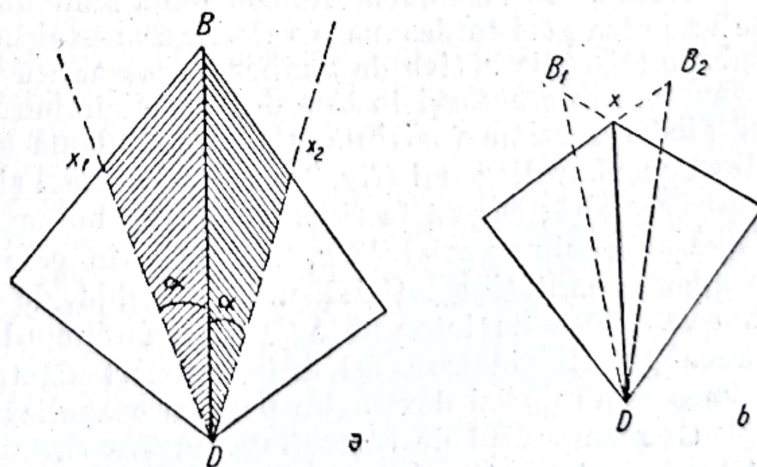


Fig. 308 — Tăierea prisme pentru un polarimetru cu penumbră.

din cele două secțiuni principale ale polarizorului, jumătatea de cîmp respectivă apare întunecată, iar cealaltă jumătate luminată.

Numai cînd secțiunea principală a analizorului este perpendiculară pe bisectoarea unghiului B_1DB_2 , ambele jumătăți de cîmp vor avea intensități luminoase medii, deci vor prezenta o penumbră de aceeași intensitate. Ochiul nostru fiind capabil să stabilească cu oarecare precizie iluminarea egală a două cîmpuri vecine, metoda polarimetrului cu penumbră permite determinarea planului de polarizare și deci a unghiului de rotație, aducînd

aparatul la penumbră egală.

La polarimetrul cu penumbră (fig. 309) trebuie să lucrăm cu lumină monocromatică. În acest scop se folosește o lampă cu vapori de sodiu, o lampă cu vapori de mercur cu filtru verde ori un filtru cu bicromat de potasiu.

Pentru determinarea concentrației unei soluții optice active, se determină mai întîi puterea rotatoare specifică a substanței de analizat. Se folosește în acest scop o soluție de concentrație cunoscută a acelei substanțe (cum se va arăta mai departe).

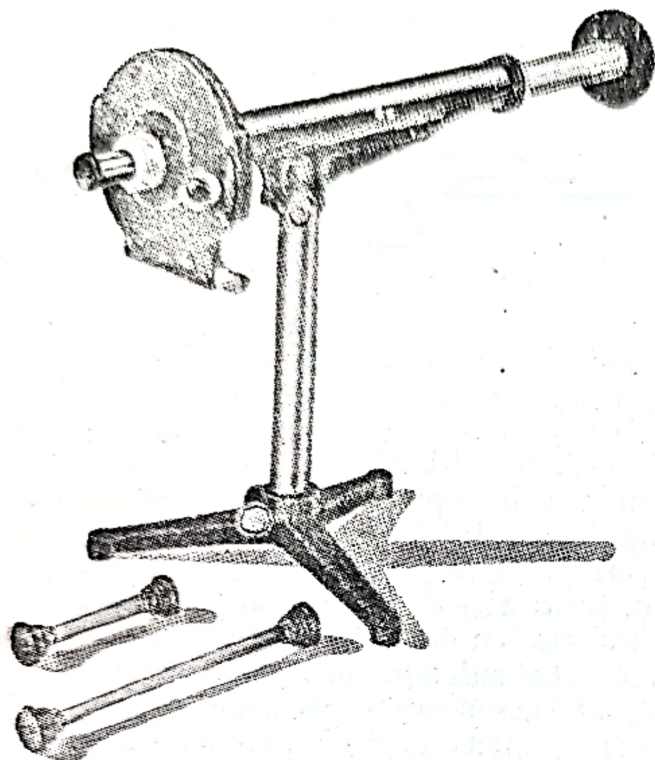


Fig. 309 — Polarimetru cu penumbră.

2. POLARIMETRUL CU COMPENSATOR

Pentru măsurarea cît mai exactă a unghiului de rotație, s-a construit un dispozitiv numit compensator de cuarț. Acest

compensator introduce între tubul cu soluție activă și analizor două lame paralelipipedice, tăiate, una dintr-un cristal de cuarț dextrogir, și alta dintr-unul levogir. Aceste două lame fiind de aceeași grosime și de semn optic contrar, puterea lor rotatoare se anulează reciproc și dispozitivul nu influențează puterea rotatoare a substanței de analizat.

Dacă se dă însă uneia din cele două lame de cuarț o grosime variabilă, se va putea găsi totdeauna o valoare a acestei lame care să anuleze rotația substanței optice active de analizat și să aducă aparatul la punctul unde penumbra este aceeași în cele două semicîmpuri. Pentru ca lama de cuarț să aibă o grosime variabilă, se taie, fie lama dextrogiră, fie cea levogiră după un plan diagonal (fig. 310). Jumătățile A și B obținute pot aluneca una peste cealaltă, așa că în fiecare moment putem avea în fața lamei fixe o lamă de grosime variabilă g , formată din cele două semilame și care să compenseze rotația soluției. Pentru un lichid, de exemplu dextrogir, penumbra va apărea de intensitate egală în cîmpul polarimetrului cînd scăderea puterii rotatoare a lamei de cuarț dextrogire compensează puterea rotatoare a soluției dextrogire pe care o analizăm.

Compensatorul de cuarț funcționează ca un micrometru polarimetric. Aducerea cîmpurilor la penumbră de intensitate egală se face cu o viză micrometrică, care deplasează cele două semilame ale compensatorului.

Avantajul compensatorului constă în posibilitatea de a aprecia fracțiuni foarte mici ale unghiului de rotație, lamelele trebuind să alunece sensibil pentru o cât de mică modificare a grosimii lamei de cuarț în regiunea g . Un alt avantaj este fixitatea analizorului și a polarizorului.

Unele din polarimetre au cîmpul divizat în semicercuri, altele în sectoare circulare sau în cercuri concentrice, pentru înlesnirea comparării penumbrelor. Cînd se obține cîmpul cu penumbră uniformă, se citește unghiul de rotație α , cum și semnul, și se introduce în formula care dă valoarea puterii rotatoare specifice:

$$[\alpha]_{\lambda}^t = \frac{100\alpha}{l \cdot c}, \quad (1)$$

unde α este unghiul de rotație măsurat la polarimetru, l este lungimea tubului, iar c = concentrația cunoscută a soluției etalon.

După ce s-a determinat puterea rotatoare specifică (numită și constanta de rotație), se face o operație identică pentru soluția aceleiași substanțe, dar a cărei concentrație nu este cunoscută. Citind unghiul de rotație α' și introducîndu-l în formulă, se calculează concentrația necunoscută după expresia

$$c_x = \frac{100\alpha'}{l[\alpha]_{\lambda}^t} \quad (2)$$

Puterea rotatoare este de două categorii: substanțele care rotesc planul luminii polarizate numai în stare cristalină au o polarizare rotatoare cristalină. Aceste substanțe pierd proprietatea în stare topită sau dizolvată. Polarizarea lor este datorită exclusiv structurii cristaline (cuarțul, cloratul de potasiu etc.).

Substanțele care rotesc lumina polarizată, atât în stare cristalină, cât și în stare de soluție, topitură sau vapori, dau această putere rotatoare structurii moleculare. Polarizarea se numește polarizare rotatoare moleculară.

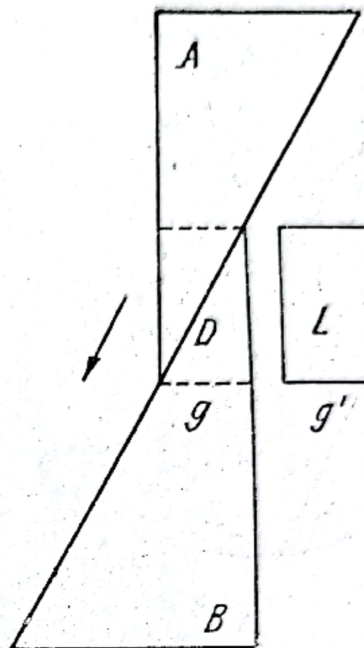


Fig. 310—Compensator pentru polarimetru.

3. POLARIMETRUL CU CITIRE DIRECTĂ

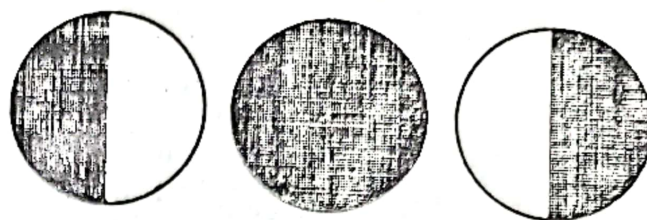
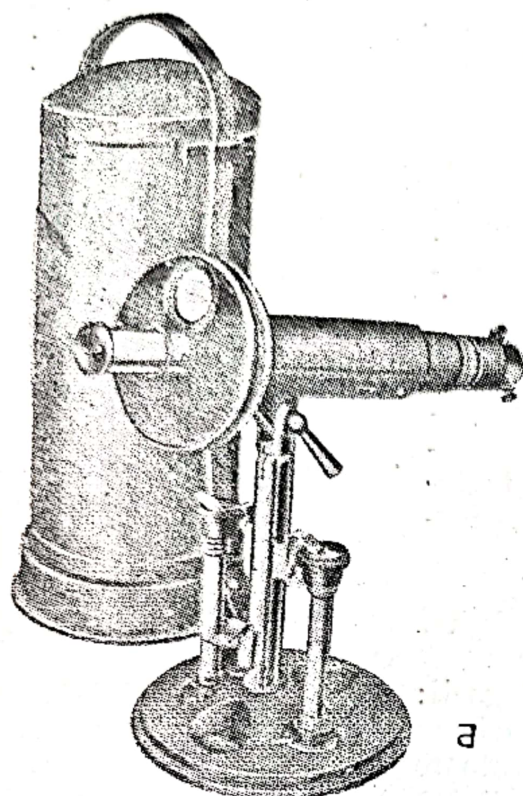
În cursul dezvoltării tehnicii polarimetrice s-au construit aparate de determinare a concentrațiilor pe cale polarimetrică, de mînuire foarte lesnicioasă. Din această categorie face parte polarimetrul cu citire directă, folosit îndeosebi în laboratorul clinic.

În acest aparat, polarizorul și analizorul sînt lame de turmalină. Polarizorul se află într-un segment de tub metalic, fixat la suport, iar analizorul, la un segment mobil care intră în cel fix și care cuprinde și o lentilă oculară reglabilă. Partea fixă cuprinde o placă de sticlă mată cu două rînduri de diviziuni: rîndul de sus arată unghiul de rotație, iar cel de jos, concentrația soluției. La mijloc se află diviziunea zero, la dreapta indicația „dextrogir“, iar la stînga „levogir“. În fața plăcii divizate, o lunetă cu fir reticular se mișcă solidar cu analizorul.

Celelalte dispozitive ale aparatului, tubul de sticlă pentru soluție etc., sînt la fel cu cele ale polarimetrului cu penumbră, descris mai înainte.

La polarimetrul cu citire directă, determinările sînt simplificate. Se rotește analizorul pînă la penumbră și se citește pe cercul de sticlă mată diviziunea la care se află firul reticular. Se obține astfel dintr-o dată valoarea unghiului de rotație, semnul acestui unghi și concentrația în grame la sută a soluției examinate, pentru care a fost etalonat aparatul.

În fig. 311 este redat un polarimetru medical cu citire directă.



a — polarimetru (Kovo); b — cimpurile;
c — citirea directă.

Fig. 311 — Polarimetru medical, cu citire directă.

C. POLARIMETRIE BIOLOGICĂ ȘI MEDICALĂ

Lumina polarizată este folosită pe scară largă în biologie și medicină. Polarimetrele numite urometre servesc în laboratoarele de analize medicale la determinări expeditiv de glucoză și albumină în urină. Zaharoza are puterea rotatoare specifică $+66,5^\circ$ și glucoza $+109,5^\circ$, iar levuloza $-91,5^\circ$; la analiza urinii, după operațiile preliminare, se face invertirea zaharozei prin încălzire cu acizi diluați; soluția capătă astfel puterea rotatoare specifică de $+52,5^\circ$. Se fac examene la microscopul optic a microscopului, inclusiv preparatul. Microscopia polarizantă, asupra căreia vom reveni la capitolul despre microscopie, servește la determinarea izotropiei și anizotropiei optice a diferitelor elemente histologice, precum și la verificarea lor: lamele osoase, fibre colagene, cromatină, mielină, fibre nervoase, cartilaje, discuri întunecate ale fibrelor musculare.

VI. INTERFERENȚĂ

A. INTERFERENȚĂ OSCILAȚIILOR

După cum s-a văzut în studiul oscilațiilor, dacă se compun două oscilații de aceeași perioadă se pot distinge două cazuri:

1. Diferența de fază a celor două oscilații se menține constantă pentru un timp anumit, suficient pentru observarea fenomenului; intensitatea osci-

lației rezultante se deosebește de suma intensităților oscilațiilor inițiale, fiind mai mică sau mai mare decât aceasta, în funcție de diferența de fază. În acest caz, oscilațiile se numesc oscilații coerente.

2. Diferența de fază a celor două oscilații variază neregulat în timpul observației; intensitatea oscilației rezultante este egală cu suma intensităților oscilațiilor componente. Oscilațiile se numesc în acest caz necoerente.

Oscilațiile armonice sînt totdeauna coerente între ele, diferența lor de fază nevariind într-un interval foarte lung de timp.

Compunerea oscilațiilor coerente se numește interferență.

B. INTERFERENȚA UNDELOR

Undele născute din oscilații armonice de aceeași perioadă sînt coerente, fiindcă într-un interval de timp, suficient de mare pentru observare, au o diferență de fază constantă.

Undele coerente pot da interferență. În orice punct atins de aceste unde au loc oscilații coerente, care prezintă fenomenul de interferență dacă direcțiile de oscilație coincid între ele. Într-un punct dat, unde observăm fenomenul, diferența de fază depinde de diferența inițială a fazelor, precum și de diferența de drum dintre sursele undelor interferente și punctul în care se face observația.

Realizarea practică a undelor coerente se face cu oarecare dificultate. Experiența a arătat că nu se poate obține interferența folosind două izvoare de lumină independente sau chiar două părți diferite ale aceluiași corp luminos, fiindcă ele nu dau totdeauna unde coerente. Nici chiar gazele rarefiate luminescente, care constituie sursele monocromatice cele mai perfecte, nu pot da interferență dacă folosim două surse separate.

Aceasta se datorește faptului că emisiunea luminii are loc — așa cum am arătat — prin procese intraatomice, așa că, la două surse de lumină independente, cele două emisiuni ale celor doi atomi n-au nici o legătură între ele. Emisiunea fiecărui atom durează foarte puțin, uneori nu trece de 10^{-8} și se întrerupe, în urma radierii cuantei de energie, conform teoriei cuantice. După un timp oarecare, acumulînd energie, atomii încep să emită din nou unde luminoase, însă cu altă fază inițială, așa că diferența de fază dintre emisiunile a doi atomi independenți se va schimba la începutul fiecărei emisiuni noi, adică la intervale de timp extrem de mici; aceasta se întîmplă chiar în cazul cînd acțiunea perturbatoare a atomilor înconjurători este redusă la minimum, cum este în cazul gazelor rarefiate luminescente. Deci, radiațiile a doi atomi diferiți și a două surse independente sînt necoerente, și figurile de interferență pe care le dau se succed foarte dezordonat, așa că nu putem observa decât o distribuție medie, uniformă, a iluminării, iar nu maximele și minimele caracteristice pentru interferența undelor.

Pentru obținerea interferenței luminii se utilizează deci emisiunea luminoasă a unui aceluiași atom sau a unui aceluiași grup de atomi apropiați, însă nu atît de apropiați încît distanța dintre ei să fie mai mică decât lungimea de undă a luminii, căci în acest caz ei se influențează reciproc și pozițiile lor în spațiu sînt practic coincidente.

Pentru a obține două sisteme de unde cu origine comună, este nevoie ca radiația emisă de un atom să fie împărțită în două fluxuri, fie prin reflexie sau refracție, fie prin difracție; aceste fluxuri trebuie astfel dirijate încît să se reîntîlnească după ce au parcurs drumuri de diferite lungimi.

În acest mod se vor întâlni unde născute din aceeași sursă, adică din același atom, dar ajunse într-un anumit loc, în timpuri diferite, cu întârzieri mai mari sau mai mici; fiind deci unde coerente, se va produce interferența lor.

1. DISPOZITIVE PENTRU REALIZAREA UNDELOR COERENTE

În dezvoltarea teoriilor despre lumină, teoria undulației a fost sprijinită și confirmată de o serie de experiențe rămase clasice; din acestea cităm în primul rând experiența cu oglinzile lui Fresnel.

a) **Oglinzile lui Fresnel** constituie un dispozitiv de importanță istorică pentru a realiza sistematic interferența prin compunerea undelor coerente. În acest scop se folosesc două oglinzi plane, de sticlă neagră, alipite după o linie dreaptă și formînd între ele un unghi diedru foarte apropiat de 180° (cîteva minute mai puțin). La o distanță de cîteva cm de muchia comună a oglinzilor se află o fantă îngustă S a unui dispozitiv de iluminare, astfel așezată încît să fie paralelă cu cele două oglinzi. Fanta este luminată de un

izvor puternic de lumină, așa că razele ieșite din fantă se reflectă pe ambele oglinzi B_1 și B_2 (fig. 312), dînd două imagini virtuale S_1 și S_2 în cele două oglinzi. Aceste două imagini virtuale ale aceluiași obiect dau oscilații coerente, dar, din cauza diferenței de drum de la S_1 și S_2 la aceleași puncte de pe ecran, aceste raze ajung în diferitele puncte ale ecranului AA' cu anumită diferență de fază. Se produce astfel interferența, și ecranul este iluminat diferit în a, b, c , adică obținem franje de interferență.

Experiența și considerațiile teoretice arată că, pentru a obține franje clare și distincte, fanta S trebuie să aibă circa $0,1 \text{ mm}$ lățime.

b) **Biprisma lui Fresnel** permite de asemenea obținerea unor unde coerente, care interferează. Aceste unde se obțin prin refracția unui fascicul de lumină prin două jumătăți ale unei prisme duble. Printr-o fantă îngustă și paralelă cu muchia prisme trece un fascicul de lumină care se refractă, dînd raze aproape paralele, ce par a porni din două puncte virtuale S_1 și S_2 .

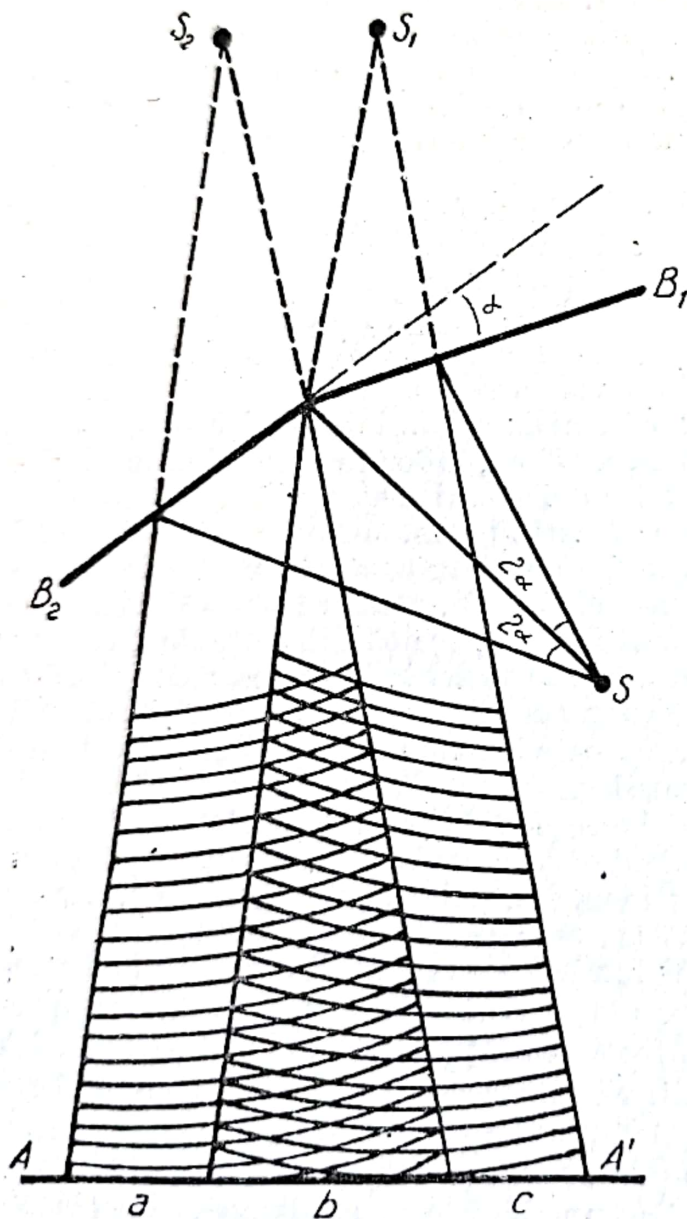


Fig. 312 — Drumul razelor în oglinzile lui Fresnel.

c) **Dispozitivul lui Young** realizează pe altă cale (prin difracție) undele coerente, care prin suprapunere dau fenomenul de interferență. O fantă puternic luminată trimite lumina la două deschideri înguste, care sînt astfel iluminate de două porțiuni diferite ale aceleiași unde luminoase. Lumina care trece prin deschiderile înguste suferă fenomenul de difracție, ce va fi studiat mai departe, și este deviată din direcția inițială, astfel că cele două părți ale unde se suprapun parțial, dînd fenomenul de interferență. Young a observat în 1802, prin această metodă, fenomenul de interferență și a stabilit principiul compunerii amplitudinilor în fenomenul de interferență.

2. CULOAREA LAMELOR SUBȚIRI

Colorarea lamelor subțiri este unul din cele mai interesante fenomene datorite interferenței luminii. Lame subțiri, cum sînt pereții baloanelor de săpun, straturile de petrol sau de ulei pe apă, plăcile de sidef, solzii de pe aripile fluturilor, peliculele de oxizi transparenți de pe sticlele vechi atacate de apă (găsite în dezgropări arheologice) dau frumoase fenomene de interferență, care, fiind produse în lumina albă, dau maxime și minime în diferitele culori ale luminii, deci apar colorate.

Interferența în lame subțiri se produce prin reflecție și prin refracție.

Prin refracție ea se produce în modul următor: să considerăm o lamă subțire cu fețele AA' și BB' paralele și avînd între ele distanța d (fig. 313). O rază de lumină monocromatică SO cade oblic pe fața AA' , se refractă după OP în lamă și iese după PS'' paralel cu direcția inițială. O a doua rază SM , paralelă cu SO , intră și ea în lamă, se refractă după MN și iese după NS' .

În N , raza, în afară de fenomenul de refracție, mai suferă și fenomenul de reflecție după NO , iar de aci urmează drumul razei I după OP și PS'' . Deci, în PS'' avem suprapuse două raze, raza I și raza II . Raza II are însă față de raza I o diferență de drum, adică tocmai drumul parcurs prin cele două reflecții în lamă: NO și OP , care, dat fiind că lama este foarte subțire, au practic valoarea $2d$. Diferența de fază datorită acestei diferențe de drum produce fenomenul de interferență.

Dacă se lucrează în lumină monocromatică, interferența se relevă prin dungii luminoase și întunecoase, iar dacă iluminarea se face cu lumină albă, dungile vor fi colorate.

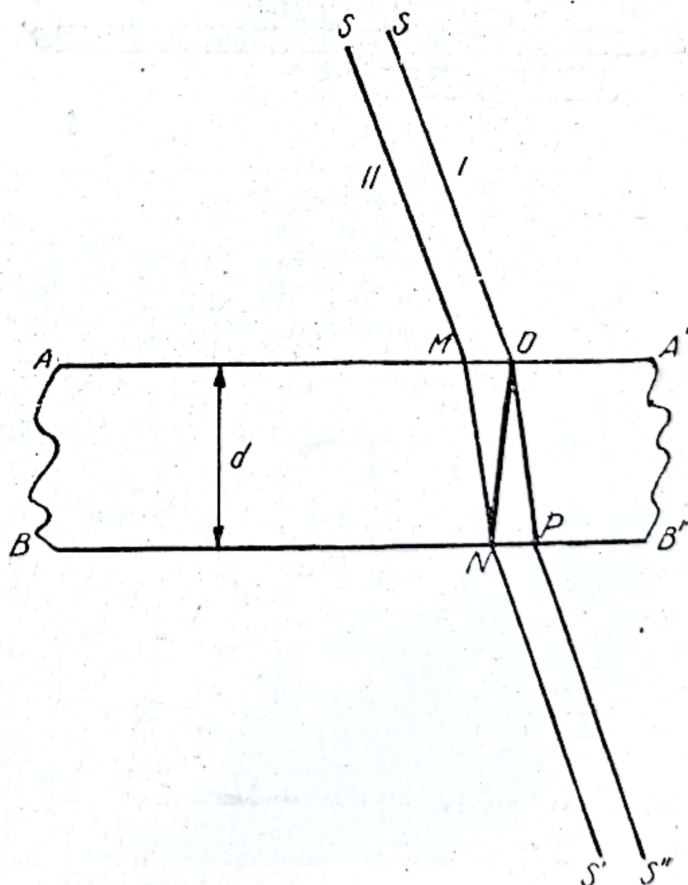


Fig. 313 — Interferența în lame subțiri.

Se demonstrează că pentru maximele și minimele de refracție, condiția, este:

$$2dn \cos r = k \frac{\lambda}{2}.$$

Culoarea λ depinde deci de indicele de refracție n al lamei, de grosimea ei d și de unghiul de refracție r , k fiind un număr întreg.

Pentru interferența prin reflecție considerăm că lumina care cade pe o astfel de lamă subțire se reflectă în parte la suprafața AA' , iar în parte pătrunde în lamă și se reflectă din nou pe celalaltă suprafață BB' .

În acest caz, diferența de drum este constituită de cele două reflecții și are aproximativ valoarea $2d$ (lama fiind foarte subțire). Restul fenomenului decurge și se explică la fel ca în interferența prin refracție.

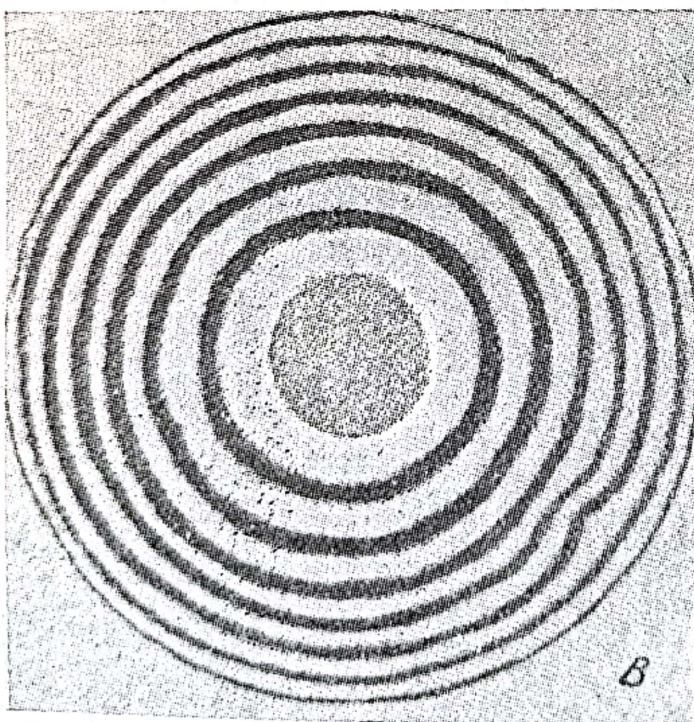
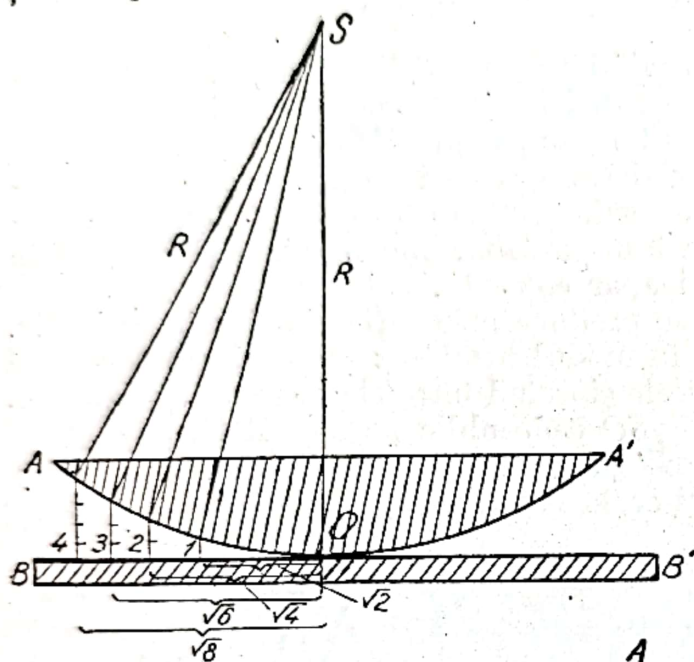


Fig. 314 — Inelele lui Newton.

3. INELELE LUI NEWTON

Cazul de interferență într-o lamă subțire de aer, cuprinsă între două corpuri de sticlă cu distanță crescândă între ele, prezintă un interes deosebit. Două lame de sticlă bine șlefuite, dreptunghiulare, se suprapun astfel ca una din laturile mici să se lipească perfect, iar între celelalte două laturi mici să se interpună o foiță subțire de aluminiu; vom avea între cele două lame de sticlă o pătură de aer de forma unei pene prismatice, de grosime crescândă. Lumina albă și privindu-l mai ales în partea cea mai subțire, el apare colorat în dungi de interferență. La iluminarea cu lumină monocromatică, de exemplu cu lumina de sodiu, întregul strat de aer de grosime crescândă apare cu dungi paralele luminoase și întunecoase.

Dacă pe suprafața unei oglinzi plane se aplică o lentilă convexă de curbura foarte mică (raza 20 m), stratul de aer merge crescând de la 0 la o grosime mică între cei doi dioptri, însă are formă circulară. Trimițând un fascicul de

lumină monocromatică pe acest sistem, aproape normal la suprafața lamei de sticlă, unde de lumină reflectate la suprafața superioară și la cea inferioară a stratului intermediar de aer vor interfera, având o diferență de drum ca și în cazul lamelor dreptunghiulare. Se obține în acest din urmă caz un sistem de inele concentrice luminoase și întunecoase, care, dacă se lucrează în lumină albă, se prezintă sub forma unor inele colorate. Aceste figuri de interferență se numesc inelele lui Newton (fig. 314).

Newton, care a studiat în 1676 acest fenomen, a constatat că dimensiunile inelelor depind de curbura lentilei. La lumina obișnuită, aceste inele sînt greu de observat; se văd bine numai cele din centru, iar colorarea lor nu permite o măsurare riguros exactă. Măsurătorile făcute de Newton au fost folosite în 1802 de Young la determinarea lungimilor de undă ale luminii.

Dacă se privesc inelele lui Newton în lumina monocromatică, prin reflexie, se observă întregul spațiu dintre lentilă și oglindă plin de inele negre pînă la marginea lentilei. Inelele pot fi observate cu o lupă. Centrul este constituit de un cerc negru. Dacă privim prin transparență, centrul apare luminos.

4. INTERFEROMETRE

Interferometrele sînt aparate de construcție variată, toate avînd însă la bază același principiu: folosirea fenomenului de interferență pentru determinarea unor mărimi fizice, îndeosebi a indicelui de refracție.

a) **Interferometrul Jamin** este compus din două lame groase de sticlă omogenă, perfect plan-paralele; paralelismul perfect al celor două lame se poate obține cu ajutorul unor șuruburi micrometrice. Aceste lame sînt suficient de groase pentru a separa raza 1 de raza 2 (fig. 315) după reflectarea razei monocromatice 3 în cele două fețe ale lamei.

Avînd cele două fascicule luminoase bine separate, se intercalează un strat de substanță, gaz, lichid, o lamă transparentă de sticlă, de mică etc. cu alt indice de refracție decît al aerului. Franjele de interferență formate la început din cauza aerului, așa cum am arătat la descrierea fenomenului de interferență prin lame, se vor deplasa din cauza modificării diferenței de drum pe care am introdus-o prin substanțele menționate.

Datorită substanței străine introduse, diferența de drum dintre razele care dau interferență este:

$$n_2 l - n_1 l = l(n_2 - n_1),$$

unde l este grosimea stratului de substanță interpus, n_1 = indicele de refracție al aerului și n_2 = indicele de refracție al substanței interpuse.

Dacă diferența de drum provocată în plus este egală cu un număr m de lungimi de undă monocromatică în care lucrăm, întreaga figură de interferență

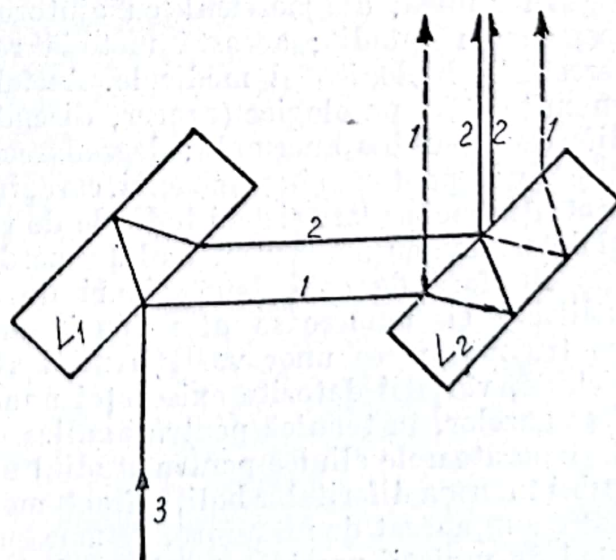


Fig. 315—Schema interferometrului lui Jamin.

va fi deplasată cu acest număr de benzi m . Această deplasare se poate măsura. Folosind relația:

$$l (n_2 - n_1) = m \lambda,$$

și măsurînd pe m (ceea ce se poate face fără dificultate), putem calcula pe $n_2 - n_1$, care reprezintă diferența dintre indicele de refracție al substanței intercalate și indicele de refracție al aerului. Pentru a putea determina diferențe foarte mici de indice de refracție, se mărește foarte mult grosimea stratului interpus, care poate fi de 10 cm și mai mult. Astfel, în lumina monocromatică de 5 000 Å, variația $n_2 - n_1$ determinată poate fi de ordinul milionimilor și chiar mai mici.

Interferometrul poate fi deci utilizat pentru a determina variații aproape insensibile ale indicelui de refracție, intervenite din cauza unor variații de temperatură sau a adăugării unor substanțe străine.

Din cauza acestei întrebuințări, aparatul de interferență este numit și *refractometru prin interferență*. El este foarte sensibil pentru variații foarte mici ale indicilor de refracție, dar nu poate fi folosit la determinarea valorii absolute a indicelui de refracție al unei substanțe, decît cu multă greutate. În general, refractometrul prin interferență este folosit pentru a compara un gaz cu un altul, binecunoscut și studiat anterior.

b) **Interferometrul Jonnard** este construit pe principiul producerii interferenței prin fenomenul de difracție, pe care l-am văzut aplicat la dispozitivul lui Young. Cu aparatul Jonnard se măsoară foarte precis diferența de drum dintre lichidul studiat și un lichid de referință. Aparatul dă această diferență de drum pînă la a șasea zecimală. Lichidele se află în niște cuve mici, de cîtiva ml capacitate.

Marea sensibilitate a aparatului permite ca acest interferometru să fie utilizat, cu niște cuve de tip special, la măsurarea diferențelor de indice de refracție al mediilor gazoase. Faptul este foarte important, fiindcă această proprietate se poate aplica la dozarea gazelor respiratorii, la determinările de metabolism bazal, la studiul mediului în igiena muncii, al fumului, al gazelor toxice din uzine și din mine. În laborator, acest aparat permite titrări alcalinimetrice și acidimetrice, studiul a numeroși reactivi chimici de reacție foarte slabă, identificarea produselor chimico-farmaceutice, descoperirea falsificării medicamentelor sau materiilor prime.

În clinică, diagnosticul cu ajutorul datelor interferometrice este de asemenea răspîndit; această metodă refractometrică este utilizată și în cercetările biologice și medicale. Astfel, serul sanguin este modificat în anumite stări patologice (cancer, disendocrinii) în care organismul conține diferite albumine anormale; degradarea macromoleculelor albuminoide dă naștere la peptone și aminoacizi, care, intrînd în soluții în ser, măresc concentrația moleculară și deci indicele de refracție. Aceasta se poate descoperi și determina cu interferometrul Jonnard.

În afară de cele două tipuri de interferometre descrise, mai sînt utilizate și numeroase alte tipuri de refractometre prin interferență, pentru măsurarea unor variații mici ale indicelui de refracție la gaze și lichide, variații datorite existenței unor impurități. În mine, pentru analiza gazelor, în tehnică pentru analiza cantităților mici de săruri din apă, în laboratoarele clinice pentru studiul unor mici variații în compoziția sîngelui în urma diferitelor boli, refractometrul prin interferență este întrebuințat ca un aparat de măsurare, de mare precizie, a indicelui de refracție, puțin da variații precise pînă la 10^{-6} și chiar 10^{-8} .

Interferometrele Michelson, Fabry-Perrot, microinterferometrele Linnik ș.a. sînt utilizate în tehnică și diferitele ramuri ale științei pentru studiul suprafețelor plane, al distanțelor unghiulare etc.

VII. DIFRACTIA

Caracterul ondulator al luminii face să întîlnim la fenomenele luminoase aceleași caractere ca la undele sonore sau la undele lichide. Dacă undele lichide, propagate atît de departe încît frontul de undă poate fi socotit ca plan, întîlnesc o deschidere într-un ecran, ele se propagă mai departe, nu numai în direcția de propagare a undei, ci și în alte direcții, ca și cum deschiderea întîlnită ar constitui un nou centru de oscilație circulară.

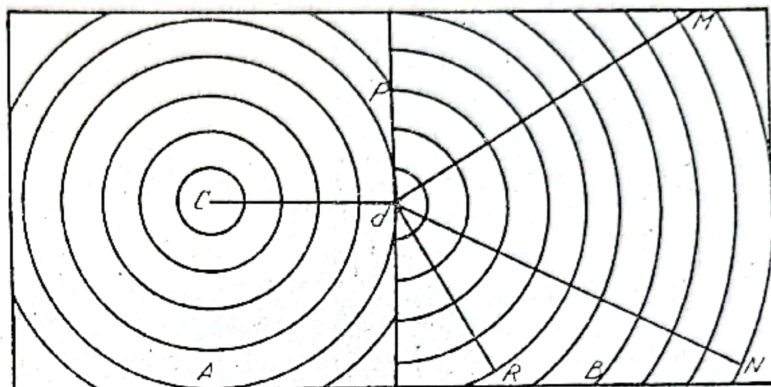


Fig. 316 — Difrakția undelor lichide.

Acest fenomen de ocolire la undele lichide poate fi verificat în modul următor (fig. 316).

Într-un vas cu două compartimente despărțite printr-un perete se află o cantitate de mercur. În compartimentul din stînga se produce pe suprafață o atingere ritmică cu ajutorul unui diapazon întreținut electric. Se formează unde care pornesc din centrul de excitație mecanică și se răspîndesc în compartiment. Dacă deschidem o fantă îngustă în peretele despărțitor, la nivelul suprafeței mercurului, atunci și în compartimentul din dreapta, în care pînă în acel moment nu erau unde, apar pe suprafața mercurului unde de aceeași lungime ca și cele din compartimentul din stînga. Aceste unde se propagă însă ca și cum deschiderea din peretele despărțitor ar fi centrul de vibrație. Principiul lui Huyghens, potrivit căruia fiecare punct de pe undă poate deveni un centru de vibrație, se confirmă astfel experimental. Undele de lichid se răspîndesc în compartimentul din dreapta în toate direcțiile, așa că se poate considera că unda inițială ocolește peretele despărțitor.

La fel se întîmplă și cu undele sonore. Deși undele sonore se propagă în linie dreaptă, totuși noi auzim sunetele și într-un ungher de după un zid, unde raza acustică a ajuns după un drum în linie frîntă.

Fenomenul de ocolire a obstacolului pe această cale de către un fenomen ondulator se numește difracție.

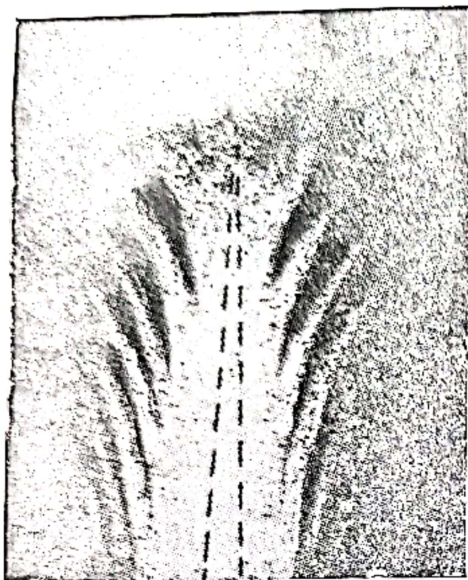
Dacă obstacolul este mai mare decît lungimea de undă a fenomenului oscilator, el împiedică propagarea mai departe a undelor. Astfel, un sunet nu poate trece dincolo de un zid foarte lung și foarte înalt, dar ocolește și trece prin difracție un zid de mărimea lungimilor de undă (0,1 la 20 m) ale sunetelor obișnuite.

Pentru lumină, fenomenul de difracție a fost descris în 1665, de Grimaldi, care nu a dat însă o explicație fenomenului. Young (1773—1829) a dat prima explicație, în teoria ondulatorie.

A. FENOMENE DE DIFRACTIE

Fenomenele de difracție a luminii pot fi puse în evidență printr-o serie de experiențe foarte simple, în anumite cazuri.

1. Practicînd o deschidere aproape punctiformă într-un ecran, lăsăm să treacă o rază de lumină de la un izvor foarte puternic (de la Soare sau de la un arc electric) spre un al doilea paravan aflat la o distanță de un metru de primul și în care avem o deschidere foarte mică, făcută cu un virf de ac. Primind lumina pe un al treilea ecran, alb, aflat la o distanță de asemenea de un metru de al doilea ecran, vom observa că împotriva legii de optică



← Fig. 317 — Figură de interferență dată de o fantă cuneiformă în lumina $\lambda = 4\,600\text{ \AA}$.

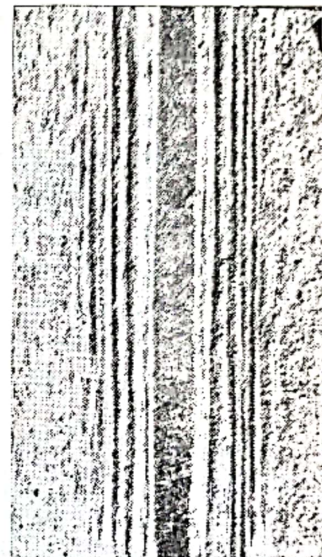


Fig. 318 — Figură de → interferență dată de un ac în lumină monocromatică de $\lambda = 4600\text{ \AA}$.

geometrică, care cere ca raza de lumină să se propage rectilin prin cele două orificii din paravanele 1 și 2 și să dea un punct luminos pe paravanul 3, obținem pe acest paravan o pată luminoasă mult mai mare și care are marginile estompate.

2. Dacă privim un izvor de lumină punctiform, printr-o fantă îngustă, se observă o lărgire a luminii în direcția perpendiculară pe lungimea fantei, și pe această lărgire a luminii se observă dungi luminoase și întunecoase paralele cu fanta. Dacă se utilizează o fantă cuneiformă (fig. 317), liniile sînt mai dese la partea lată a fantei și mai divergente spre virful ei. Aceste dungi nu sînt altceva decît franje de interferență obținute prin difracția luminii.

3. Dacă se proiectează pe un ecran alb, la o anumită distanță, umbra unui fir subțire de sîrmă (0,2 mm în diametru) sau a unui ac, se obține o dungă neagră înconjurată de dungi alternative luminoase și întunecoase (fig. 318). Experiențele au fost realizate de V. K. Arkadiev în lumina cu $\lambda = 4\,600\text{ \AA}$.

4. Dacă în calea razelor date de un izvor punctiform se ține un ecran opac cu marginile netede, obținem pe un ecran umbra cu marginile estompate, ceea ce arată că în zona de umbră formată după regulile geometrice a pătruns lumina, ocolind marginile ecranului. În fig. 319 sînt redată umbrele deformate ale unui obiect iluminat de la diferite distanțe (experiență făcută de asemenea de V. K. Arkadiev).

Aplicîndu-se principiul lui Huyghens la difracția luminii, cum și studiile lui Fresnel (1788—1827), care a arătat cum se poate rezolva problema

intensității luminoase prin fenomenele de interferență, s-a ajuns la un studiu amănunțit al difracției. Studiul figurilor de difracție într-un punct situat la anumită distanță de corpul opac a fost făcută de Fresnel (în 1815—1818), așa că fenomenele de difracție de acest gen sînt numite de obicei difracția Fresnel.

Dacă difracția se face în lumină paralelă, și razele de lumină sînt, după difracție, din nou paralele, fenomenele de difracție iau numele de difracția Fraunhofer.

Difracția printr-o fantă simplă se formează astfel încît razele extreme

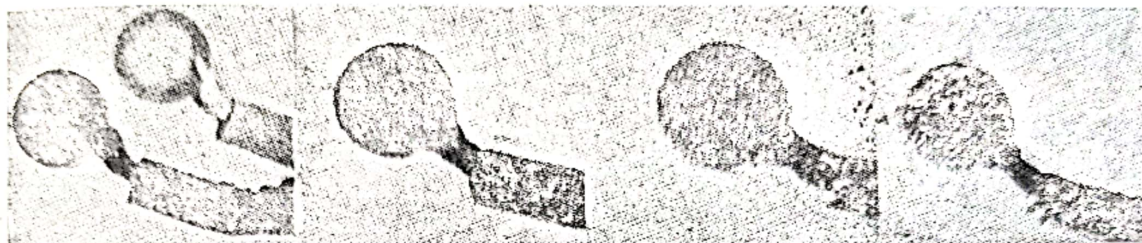


Fig. 319 — Difracția luminii la trecerea pe lîngă un obiect opac, la diferite distanțe: 3 m, 2 km, 7 km, 29 km (experiența lui K. V. Arkadiev).

ale fasciculului luminos au diferența de drum $k \frac{\lambda}{2}$ (fig. 320). Maximele și minimele se formează cînd difracția satisface condiția

$$a \sin \alpha = k \frac{\lambda}{2}$$

Maxime de lumină apar acolo unde avem o diferență de drum de un număr nepereche de jumătăți de lungime de undă, și minimele unde avem un număr pereche.

În caz că difracția se face prin două fante paralele și egale, dacă k este un număr impar, avem minime, fiindcă toate oscilațiile unuia din fascicule sînt în discordanță de fază cu cele ale celuilalt, și ele se anulează reciproc. Dacă k este un număr par, toate oscilațiile unuia din fascicule se află în concordanță de fază cu cele ale celuilalt fascicul și avem maxime. Amplitudinea se dublează și intensitatea devine de patru ori mai mare decît pentru o singură fantă. În fig. 321 este redată schematic interferența pentru o fantă dublă.

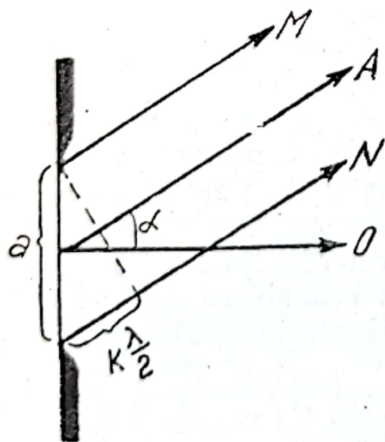


Fig. 320 — Diferența de drum între razele M și N este de $k \frac{\lambda}{2}$.

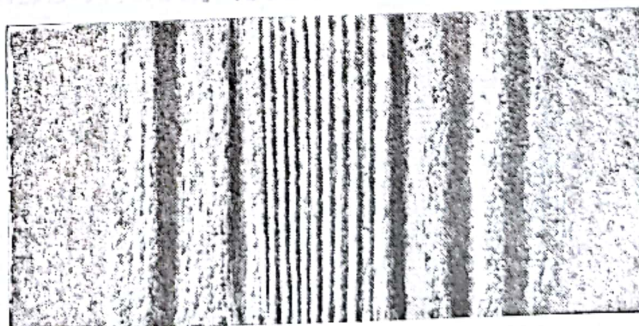


Fig. 321 — Figură schematică de interferență pentru două fante paralele și egale.

Creșterea numărului de fante face să apară minime suplimentare. Între fiecare pereche de maxime principale există, în cazul a trei fante, două minime suplimentare, în cazul a patru fante trei minime suplimentare etc.

Intensitatea maximelor principale crește cu numărul fantelor, deoarece crește și cantitatea de lumină care traversează această rețea de fante. La un număr mai mare de fante, maximele difuze devin clare, distincte și înguste, și sînt despărțite prin intervale practic negre, deoarece maximele secundare sînt foarte slabe.

Examinînd efectele rețelelor alcătuite din fante paralele, numeroase și foarte apropiate, se observă că, la un număr de fante, lumina transmisă prin rețea se adună în anumite regiuni deosebite și bine distincte ale ecranului. Poziția acestor regiuni este determinată de relația

$$d \sin \varphi = m \lambda,$$

unde d este constanta rețelei și are valoarea $d = a + b$ (fanta plus distanța dintre două fante), iar φ este unghiul de difracție făcut de fascicul cu normala la rețea; deci, poziția regiunilor depinde de lungimea de undă λ .

Cele expuse arată că rețeaua de difracție este un aparat care are pentru fiecare lungime de undă altă regiune, deci este un aparat spectral. Spectrele obținute cu ajutorul rețelei se numesc *spectre de difracție*.

B. APLICAȚIILE DIFRAȚIEI

Se construiesc spectroscopae perfecționate în care spectrele nu se obțin cu ajutorul prismelor, ci cu al rețelelor de difracție.

Rețelele de difracție sînt folosite la determinarea lungimii de undă a diferitelor radiații luminoase. Cu ajutorul difracției prin rețele cristaline s-a determinat lungimea de undă a razelor Röntgen, așa cum se va arăta la capitolul respectiv.

Primele rețele de difracție au fost construite în mod practic de Fraunhofer (1821). El trăgea linii pe o foiță de aur subțire, aplicată pe o placă de sticlă; apoi a trasat liniile direct pe sticlă, cu ajutorul unui diamant. Cea mai bună rețea avea trăsăturile distanțate cu circa 3 microni. Rețelele lui erau transparente. El a arătat că se pot face rețele și prin reflecție. În prezent se construiesc rețele cu mașini speciale; ele au 8 000 și chiar 12 000 linii pe cm și sînt lungi de 10 cm. Copii ieftine ale acestor rețele gravate pe sticlă se obțin prin imprimare pe gelatină, adică prin replici confecționate în mod special.

VIII. MICROSCOPIA

Microscopia constă dintr-un ansamblu de metode de examinare și studiu al corpurilor de dimensiuni foarte mici, cu ajutorul aparatelor optice numite microscopae. În dezvoltarea tehnicii microscopice s-au construit microscopul simplu sau lupa, microscopul compus (microscopul propriu-zis), s-au adaptat dispozitive de ultramicroscopie, de polarizare etc. și s-au realizat în ultimele decenii microscopul ultrasonor și microscopul electronic.

A. MICROSCOPUL SIMPLU

Microscopul simplu sau lupa constă în esență dintr-o lentilă convergentă cu distanța focală mare: 10 — 100 mm. De obicei, lupa este încadrată într-o ramă cu minier, pentru a putea fi ușor mînuită. Pentru

scopurile medicale, biologice, de studiu etc., se fixează lupa într-un stativ și uneori chiar într-un dispozitiv asemănător cu cel al microscopului monocular sau binocular.

Imaginea în lupă este virtuală, dreaptă și mai mare decât obiectul; obiectul de examinat se așază între focarul lentilei și centrul ei optic. Vizibilitatea amănuntelor unui obiect sau ale unei imagini virtuale depinde de unghiul sub care se vede obiectul sau imaginea. Lupa este deci caracterizată de unghiul α sub care se vede imaginea, și nu prin mărimea acestei imagini.

Puterea unei lupe este exprimată prin unghiul α' sub care se vede prin ea unitatea de lungime a obiectului AB

$$P = \frac{\alpha'}{AB} \quad (1)$$

Grosismmentul lupei este raportul dintre unghiul α' sub care un observator vede un obiect prin lupă și unghiul α sub care el vede același obiect cu ochiul liber, la distanța minimă de vedere distinctă:

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} \quad (2)$$

Cum unghiul α are o valoare egală cu raportul dintre mărimea obiectului și distanța minimă de vedere distinctă d

$$\alpha = \frac{AB}{d} \quad (3)$$

valoarea grosismmentului se obține înlocuind pe α și α' cu valorile lor din (1) și (3):

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{P \cdot AB}{\frac{AB}{d}} = P \cdot d$$

și cum puterea unei lentile se exprimă prin inversul distanței ei focale, așa cum se va arăta mai departe:

$$P = \frac{1}{f}$$

vom avea:

$$G = P \cdot d = \frac{1}{f} d. \quad (4)$$

Grosismmentul unei lupe este deci egal cu produsul puterii lupei prin distanța minimă de vedere distinctă.

Această definiție a grosismmentului unei lupe arată că grosismmentul poate varia mult, după observator: un observator cu vederea normală se poate servi cu mai mult folos de lupă decât un miop (care vede bine numai de aproape).

Utilitatea lupei pentru mărimi uzuale reiese din faptul următor: ochiul nu distinge detaliile unui obiect decât dacă-l vede sub un diametru aparent de cel puțin $1/3\,000$ radiani. Acest unghi α intercepțează pe un obiect liniar așezat la $d = 15$ cm o lungime:

$$\epsilon = \alpha \cdot d = \frac{150}{3\,000} = \frac{1}{20} \text{ mm.}$$

Deci, un obiect de $1/20$ mm, așezat la 15 cm de ochi, este văzut ca un punct, ochiul nedistingînd nici un amănunt în el.

Observat însă cu o lupă de distanță focală $f = 3$ cm și deci cu groșimentul

$$G = \frac{1}{f} \cdot d = \frac{1}{3} \cdot 15 = 5,$$

obiectul de $1/20$ mm este văzut sub un unghi de $\frac{5}{3\,000}$ radiani deci de 5 ori mai mare, așa că ochiul poate distinge amănuntele lui.

Cele mai bune lupe permit să se distingă două puncte aflate la o distanță de 3 microni între ele. Lupa mărește practic pînă la 25 de ori.

B. MICROSCOPUL COMPUS

Microscopul compus, microscopul propriu-zis sau, mai scurt, microscopul (fig. 322), este unul

din aparatele cele mai frecvent întrebuintate în cercetarea științifică generală, cea medicală și biologică, precum și în diferitele ramuri ale tehnicii.

Microscopul este format din trei părți: partea optică, partea mecanică și dispozitivul de iluminare a obiectului.

1. OPTICA MICROSCOPULUI

Microscopul este compus în principiu dintr-un sistem centrat de lentile, care au rolul de obiectiv, și un alt sistem centrat de lentile cu rol de ocular; ele sînt așezate la extremitățile unui tub, astfel ca focarele lor alăturate să se afle la o distanță de cîtiva cm.

Obiectul aflîndu-se dincolo de focarul extern al obiectivului și foarte apropiat de el, imaginea va fi reală, răsturnată și mai mare; ea se formează lîngă ocular, și anume între focarul ocularului și ocular. Această imagine are rol de obiect față de ocular; ocularul devine, din cauza

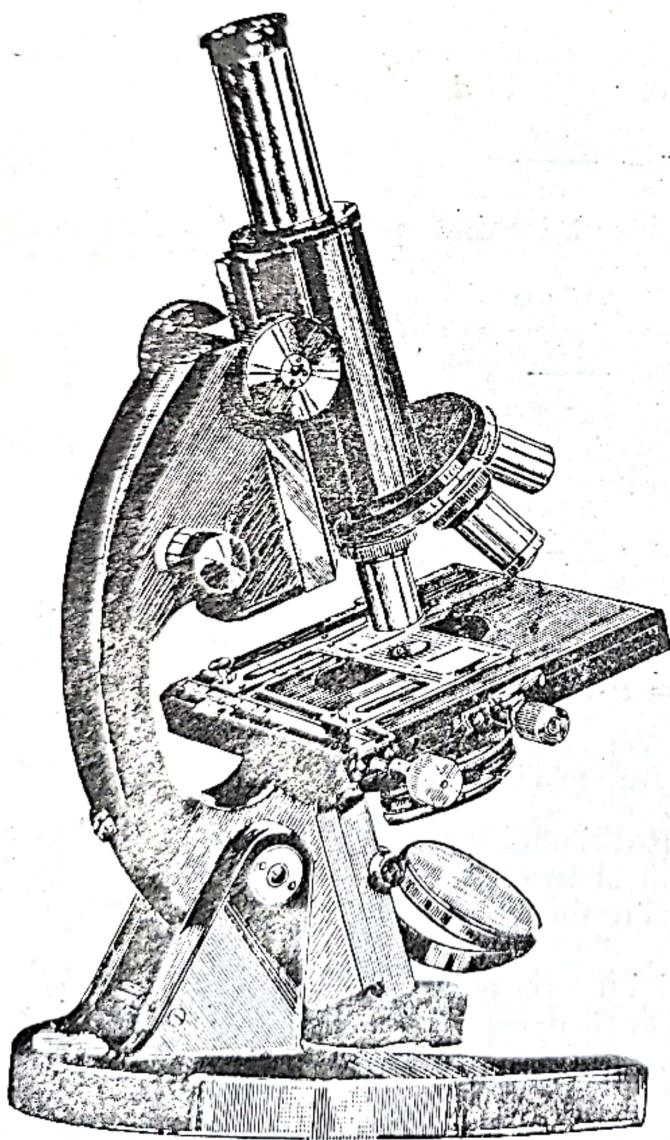
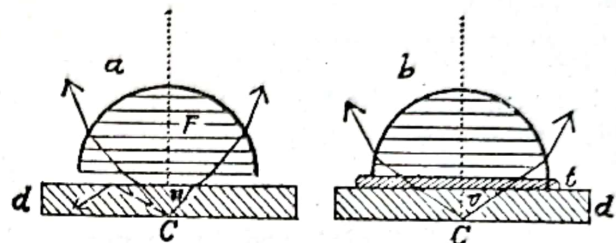


Fig. 322 — Microscop medical pentru examenul sîngelui, sedimentului din urină etc.

poziției sale, o lupă și dă o imagine dreaptă, virtuală și mai mare a primei imagini, considerată ca obiect. Imaginea finală se formează la distanța minimă de vedere distinctă, într-un plan luminos numit cîmp optic. Cum imaginea dată de obiectiv este inversată față de obiect, imaginea dată de ocular este și ea inversată față de obiect.

a) **Sistemul obiectiv.** Sistemul obiectiv sau obiectivul este alcătuit dintr-un sistem centrat de lentile așezate într-un tub metalic care se înșurubează, fie direct la partea inferioară a tubului microscopului, fie la o cupolă turnantă, numită revolver, care poate purta 3—4 obiective. Lentila inferioară a obiectivului este plan-convexă, cu fața plană spre obiect, și se numește lentila frontală. Celelalte lentile sînt asociații de lentile plan-convexe, biconcave, meniscuri, calculate astfel încît să aducă obiectivului corecțiile necesare. Puterea de mărire a obiectivului este cu atît maimare cu cit raza sa de curbură (deci și distanța focală) este mai mică.



a—schema obiectivului uscat; b—schema obiectivului cu imersie.

Fig. 323 — Obiectivul microscopului.

Obiectivele sînt de două feluri: uscate și cu imersie.

Obiectivele uscate creează totdeauna un loc liber între ele și lamela care acoperă preparatul de studiat. La obiectivele cu imersie se interpune între lamelă și obiectiv o picătură de ulei de cedru sau alt lichid cu indicele de refracție $n = 1,50$, apropiat de cel al sticlei din care este făcut obiectivul.

Obiectivul cu imersie oferă avantaje deosebite. Din figurile 323 a și b reiese clar că, în timp ce, la obiectivul uscat, o parte din raze trimise de obiect spre lentila frontală se pierd prin refracție și reflexie totală, la obiectivul cu imersie, indicele de refracție al lichidului fiind același cu al lentilei frontale, toate razele vor trece spre obiectiv.

Obiectivul unui microscop este corijat în diferite moduri. Aberația cromatică a lentilei, care am arătat că se datorește faptului că lentilele descompun lumina albă ca o prismă, mai ales spre periferia lor, se corectează prin asocierea a două lentile cu indice de refracție diferit pentru diferitele culori ale spectrului: una convexă de crown (silicat de calciu și potasiu) și una plan-convexă (ori menisc) de flint (silicat de potasiu și plumb) care au aberațiile cromatice egale și de semn contrar, focarul razelor galbene coincidînd cu cel al razelor violete.

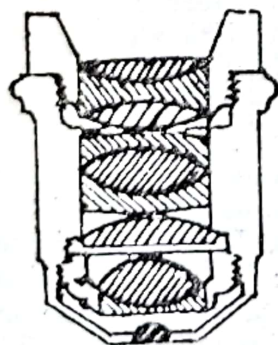


Fig. 324 — Obiectiv apocromatic, format din 10 lentile (secțiune).

Aberația de sfericitate se corectează printr-un sistem aplanetic, unde lentila de crown are raza de curbură cit o șesime a celei de flint.

Fig. 324 reprezintă un sistem obiectiv apocromatic format din 10 lentile, la care este corectată aberația cromatică și cea de sfericitate pentru două lungimi de undă.

b) **Ocularele** sînt construite, în general, din două lentile: lentila de cîmp și lentila oculară propriu-zisă, ambele așezate într-un tub care se introduce în partea superioară a tubului microscopului.

Ocularele curente sînt de două feluri: oculare Huyghens (1703) și oculare Ramsden (1783).

Ocularul Huyghens are lentilele plan-convexe, cu convexitatea în jos, spre obiectiv. De fapt, lentila inferioară a ocularului face parte din sistemul obiectiv. Ea strânge imaginea, o face mai clară și o formează în planul diafragmei D , care limitează câmpul optic. Lentila superioară a ocularului este o lupă care mărește imaginea formată în lentila de câmp și dă imaginea finală, virtuală, mărită și la distanța de 25 cm de ochi (fig. 326).

Ocularul Ramsden (fig. 327) este format din două lentile plan-convexe așezate cu convexitatea față în față. Imaginea dată de obiectiv se formează în planul diafragmei D . Acest ocular mai este numit și ocular ortoscopic și se întrebuințează când vrem să determinăm puterea de mărire a microscopului sau când facem desene microscopice, fiindcă dă un câmp de dimensiuni mari. Corijările ocularului și ale restului de aberații ale obiectivului se fac de către diafragma care reține razele marginale. Uneori se întrebuințează oculare compensatoare. Ocularele microscopelor moderne au mai mult de două lentile.

În fig. 325 sînt redată formarea imaginii și mersul razelor într-un microscop binocular iar în fig. 326 și 327 ocularele Huyghens și Ramsden.

2. PUTEREA REZOLUTIVĂ A MICROSCOPULUI

Calitatea cea mai prețuită în practică a unui microscop este puterea lui de a separa două puncte apropiate, astfel încît ele să nu fie văzute contopite. Această calitate se numește putere rezolutivă.

Puterea rezolutivă a unui microscop este condiționată de o serie de factori, din care vom descrie pe cei mai importanți.

a) **Luminozitatea imaginii.** Luminozitatea imaginii pe care o dă microscopul este determinată de cantitatea de lumină care ajunge prin lentilele și diafragmele microscopului la ochiul observatorului:

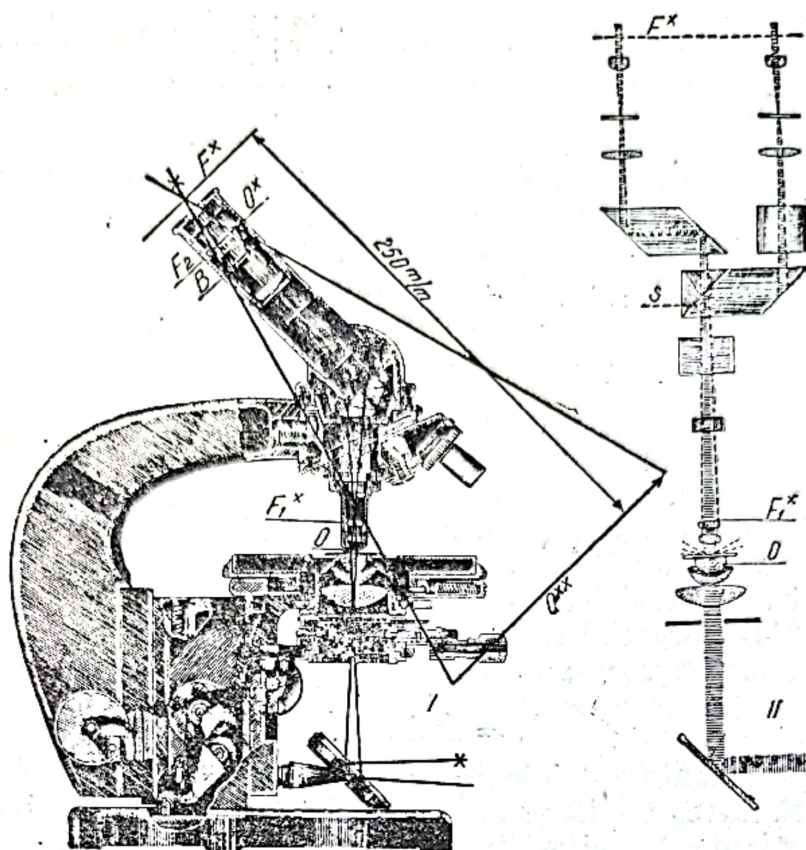
La diferitele instrumente optice, luminozitatea imaginii depinde numai de diametrul obiectivului. La microscop, însă, diametrul lentilei obiective nu poate fi mărit după dorință, deoarece obiectivul unui microscop cu putere de mărire mare trebuie să fie o lentilă cu distanța focală foarte mică, iar o astfel de lentilă trebuie să aibă diametrul foarte mic. De aceea, pentru a avea o imagine cît mai luminoasă a obiectului examinat la microscop, trebuie să lucrăm cu un fascicul luminos care să aibă în microscop un unghi foarte mare.

La microscopul cu obiectiv uscat, din razele de lumină care pornesc de la obiect, pot trece în aer și intra în lentila frontală a obiectivului numai acele raze ale fascicului luminos al căror unghi de deschidere φ este mai mic decît dublul unghiului limită de refracție, deci numai razele care nu se reflectă total. Razele care cad în afara acestui fascicul sînt reflectate total. Imersia are rolul de a mări unghiul de deschidere al fascicului luminos care intră în microscop (fig. 323).

În adevăr, la obiectivul cu imersie, unghiul de deschidere v este mai mare decît unghiul u al obiectivului uscat, așa că intră în microscop o cantitate mai mare de lumină și imaginea devine mai luminoasă. Imersia mai are un avantaj legat de fenomenul de difracție a luminii: imaginea devine foarte clară și puterea de rezoluție a microscopului, adică de separare a celor mai mici detalii ce se pot deosebi, este considerabil mărită.

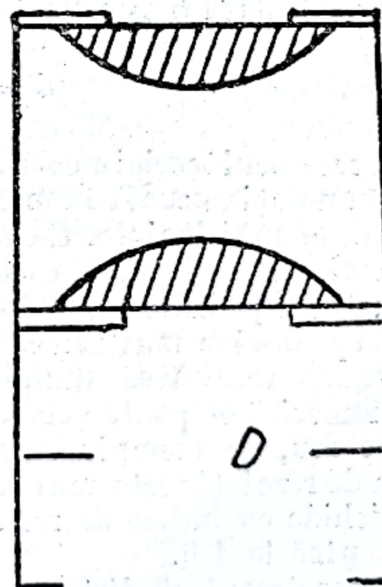
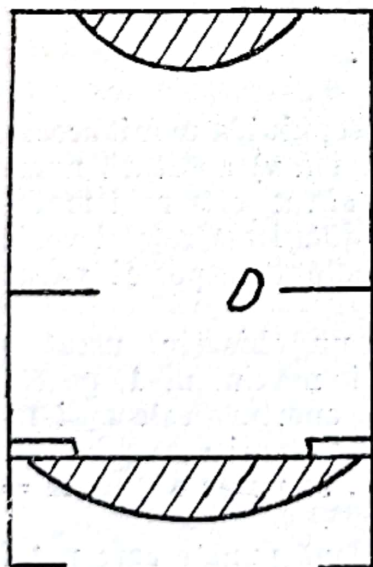
b) **Apertura numerică.** Caracteristică pentru luminozitatea imaginii și pentru puterea de rezoluție a microscopului este mărimea

$$A = n \sin u,$$



I — formarea imaginii; II — mersul razelor; F_1^x — planul focal inferior al obiectivului; F — planul focal al ocularului; F^x — planul focal al întregului microscop; S — dispozitiv semitransparent pentru împărțirea fasciculului luminos în două; O — obiectul; O^x — imaginea reală; O^{xx} — imaginea virtuală finală.

Fig. 325 — Microscop binocular.



D — diafragma.

Fig. 326 — Ocularul Huyghens (lentila oculară mică și lentila de câmp mare),

Fig. 327 — Ocularul Ramsden (lentilele de mărime egală).

unde n este indicele de refracție al mediului, care se află între obiect și lentila frontală a obiectivului, iar u este unghiul dintre axa optică a sistemului și raza externă a fasciculului luminos; unghiul de deschidere al fasciculului luminos este astfel $2u$. Mărimea A a fost numită *apertură numerică* a obiectivului.

c) **Rolul difracției în microscopie.** Construcțiile geometrice pentru obținerea imaginii în microscop au fost făcute după principiile opticii geometrice, considerând propagarea rectilinie a razei de lumină.

În microscopie, studiindu-se însă imaginea unor obiecte foarte mici, difracția intervine în mod sensibil. Imaginea obiectelor care sînt mai mici decît jumătatea lungimii de undă a luminii în care se lucrează nu mai redă exact obiectul. De aceea, micșorînd lungimea de undă a luminii, putem mări puterea de rezoluție a microscopului.

La obiectivul cu imersie, pe lângă eliminarea completă a reflecției totale despre care am vorbit, și care înstrăinează o bună parte a fasciculului luminos, neintroducînd-o în microscop, trebuie să mai ținem seama și de faptul că în ulei (care are de obicei indicele de refracție $n = 1,5$) lungimea de undă a luminii este mai mică decît în aer; în aceasta constă avantajul principal al sistemului de imersie.

La studiul difracției se arată că pentru maxima obținută prin rețele de difracție avem expresia:

$$\lambda = d \sin \varphi,$$

unde d este constanta rețelei și φ unghiul de difracție pentru o singură maximă. Dacă între dungile rețelei și obiectiv se află ulei, care are indicele de refracție de n ori mai mare, lungimea de undă λ devine de n ori mai mică, și deci unghiul de difracție φ' al fiecărei maxime devine mai mic. Vom avea:

$$\frac{\lambda}{n} = d \sin \varphi'.$$

De aci rezultă, dacă φ este unghiul de difracție pentru prima maximă, că

$$d = \frac{\lambda}{n \sin \varphi'}.$$

Abbe, creatorul teoriei moderne a microscopului, a numit această mărime $n \sin \varphi'$ (în notația uzuală în microscopie $n \sin u$) *apertură numerică*, așa cum am arătat mai înainte. Cu cît $A = n \sin u$ este mai mare, cu atît d devine mai mic, deci distanța dintre două dungii ale rețelei vecine devine mai mică; la fel și distanța dintre două puncte care pot fi văzute separat la microscop devine mai mică.

d) **Puterea rezolutivă limită.** Pentru un obiectiv uscat $n_{\text{aer}} = 1$, apertura numerică A poate atinge matematic maximum 1, pe cînd pentru uleiul de cedru, de exemplu cu $n = 1,515$, apertura este mai mare decît 1 și limita de rezoluție este mai favorabilă. La un microscop bun cu imersie, folosind lichide cu indice de refracție mare, se poate obține $A = n \sin u$ de valoare pînă la 1,6.

Se demonstrează că distanța d dintre două puncte care pot fi văzute separat la microscop este:

$$d = \frac{\lambda}{2 n \sin u} = \frac{0,5 \lambda}{A};$$

pentru lumina verde ($\lambda = 5\,200\text{ \AA}$) avem la o imersie bună:

$$d = \frac{0,5\lambda}{A} = \frac{2\,600}{1,6} = 1\,625\text{ \AA}.$$

La obiectivele microscopelor moderne, apertura numerică atinge valori mari. Pentru sistemele uscate (unde avem $n = 1$ și $\sin u$ merge practic pînă la 0,95) este posibilă rezolvarea unor amănunte de dimensiuni în jurul jumătății lungimii de undă a luminii în care se lucrează. Cu obiective cu imersie, se poate obține o rezoluție de 1,5 ori mai mare. Practic, un astfel de microscop mărește de aproape 2 000 ori.

C. MICROSCOAPE DE TIP SPECIAL

Dezvoltarea microscopiei pe măsura extinderii nevoii de a pătrunde în amănuntele obiectului de examinat a făcut ca aparatul să capete o construcție deosebită, cu unele calități legate de noile nevoi cărora le corespunde tipul special construit.

1. MICROSCOPUL CU LUMINĂ ULTRAVIOLETĂ

Din expresia examinată mai înainte:

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin u} = \frac{0,5\lambda}{A}$$

reiese că puterea rezolutivă a microscopului se poate mări, nu numai măbind apertura numerică A (care depinde de n și de u), ci și prin folosirea unei lumini cu lungimea de undă mai mică decît cea a luminii vizibile.

Se poate astfel folosi în microscopie radiația ultravioletă.

Cu microscopul cu raze ultraviolete nu se pot vedea direct imaginile, aceste raze fiind invizibile pentru ochiul nostru; se pot însă obține cu razele ultraviolete microfotografii foarte bune, căci, la apertură egală, puterea rezolutivă este invers proporțională cu lungimea de undă a luminii folosite.

Un microscop pentru ultraviolet trebuie să aibă lentile transparente pentru razele ultraviolete; aceste lentile sînt de cuarț sau de sticlă specială (sticlă uviol), transparentă pentru razele ultraviolete. Producînd razele ultraviolete printr-o descărcare electrică între doi electrozi de cadmiu, lungimea de undă obținută este cam jumătate decît în lumina vizibilă, așa că puterea rezolutivă a microscopului devine de două ori mai mare; se obțin astfel separat puncte aflate la o distanță de două ori mai mică decît în microfotografiile luate în lumina vizibilă.

2. MICROSCOPUL CU INTERFERENȚĂ

În anumite condiții se pot deduce din forma figurilor de difracție, adică a figurilor de interferență, obținute în cercetarea microscopică, concluzii asupra formei și constituției particulelor.

Microscopia prin interferență este încă în forma de început; perspectivele acestei metode sînt foarte mari.

3. MICROSCOPUL CU REFLECȚIE

Pentru a putea face vizibilă suprafața unor corpuri netransparente, cum sînt de exemplu suprafețe metalice, nu se pot folosi metodele de microscopie cu iluminare prin refracție, arătate mai sus. Obiectul trebuie deci iluminat pe fața îndreptată spre obiectiv. Această iluminare se face cu un izvor puternic, cu incidență oblică, pentru a provoca contraste luminoase. Microscopia cu reflecție este utilizată în metalografie, în cristalografie, în studii de farmacologie etc.

4. MICROSCOPUL POLARIZANT

De mai multe ori se prezintă necesitatea de a examina pe cale polarimetrică elemente care nu pot fi văzute în amănunțime decît la microscop. Pentru aceasta s-a făcut o sinteză între microscop și polarimetru: s-a construit microscopul polarizant. În principiu, se așază dispozitivele de polarizare a luminii (turmaline, nicoli, polaroizi) unul în ocular și altul în dispozitivul de iluminare. Microscopul polarizant este utilizat în biologie și medicină pentru studierea elementelor histologice care prezintă anizotropie optică, așa cum s-a arătat la descrierea luminii polarizate. Microscopul polarizant este folosit și în mineralogie, cristalografie, metalurgie etc.

5. MICROSCOPUL PROIECTOR

Se construiesc microscopae pentru studiul imaginii reale a unor obiecte: acestea sînt microscopaele proiectoare. În loc de a fi folosit la examinarea imaginii finale virtuale, în cîmpul aparatului, microscopul proiector formează o imagine reală și mult mărită a preparatului microscopic pe un ecran de proiecție.

Ca microscop proiector poate fi utilizat orice microscop obișnuit, așezat astfel încît tubul cu sistemele optice să aibă poziția orizontală; se luminează puternic, direct în axa optică a aparatului, sistemul de iluminat luînd locul oglinzii din microscopul obișnuit.

Așezarea sistemului optic este deci următoarea: un izvor puternic de lumină, condensatorul, lama cu preparatul microscopic, obiectivul microscopului, tubul microscopic. Ocularul se înlătură. Se obțin astfel proiecții foarte bune, la o distanță de 4—5 m, diametrul imaginii fiind mai mare de 1 m. Imaginea reală de pe ecran este inversată, ca la toate aparatele obișnuite de proiecție.

Se poate proiecta preparatul microscopic și fără a se înlătura sistemul ocular al microscopului. În acest caz, imaginea reală, inversată și mai mare, care se formează în cîmpul ocularului, așa cum s-a arătat la studiul formării imaginii în microscop, nu mai este privită și văzută ca o imagine virtuală, ci devine la rîndul ei obiect luminos față de ocular și dă prin el o imagine reală și inversată pe ecran; această imagine, fiind răsturnată față de imaginea răsturnată dată de obiectiv, va fi dreaptă față de obiect. Imaginea proiectată în acest mod, deși prezintă avantajul de a fi dreaptă și clară, este însă mai puțin mare decît imaginea proiectată fără ocular.

Microscopul proiector este un auxiliar prețios pentru învățămînt, pentru domeniile care folosesc microscopia ca metodă de cercetare și pentru studiul amănunțit și lesnicios al imaginilor microscopice.

6. DISPOZITIVE PENTRU DESENAREA IMAGINILOR MICROSCOPICE

Pentru a se realiza desene după imaginile din câmpul microscopului, se folosește dispozitivul numit „cameră clară” sau „camera lucida”. În fig. 328 este redat un asemenea dispozitiv atașat la un microscop obișnuit, și se arată și drumul razelor.

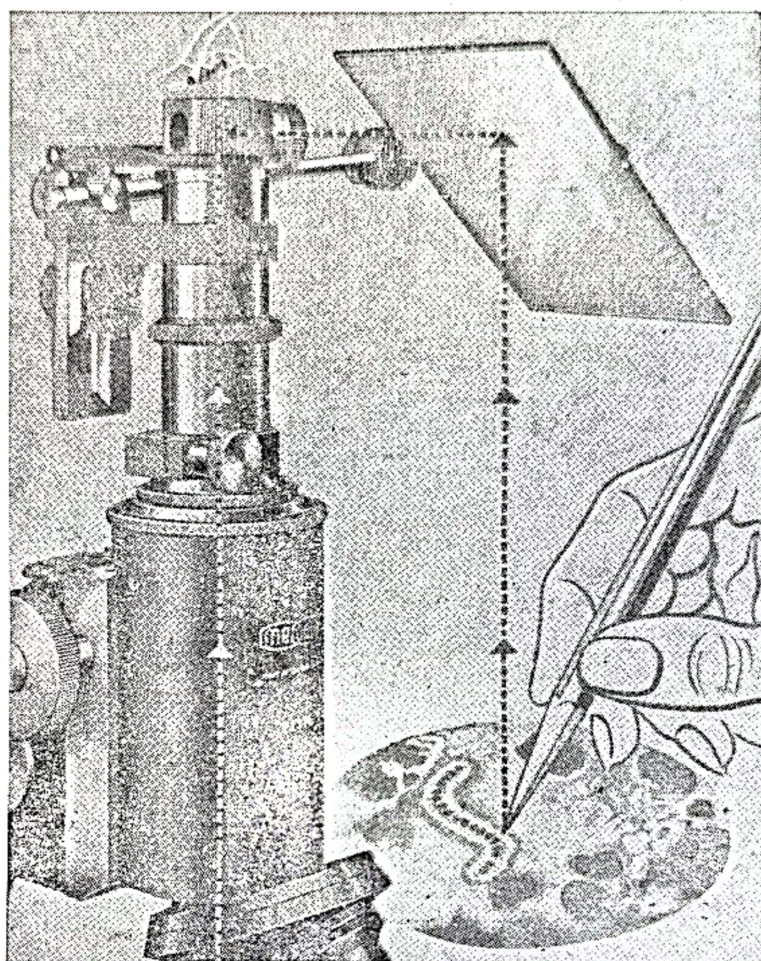


Fig. 328—Cameră clară (*camera lucida*) adaptată microscopului pentru desena imaginilor din câmpul aparatului.

Dispozitivul constă dintr-o oglindă metalică sau dintr-o prismă cu reflecție totală, așezată astfel încît suprafața reflectantă să facă un unghi de 45° cu verticala. Camera clară se atașează în regiunea ocularului; microscopul are poziția verticală.

Cu ajutorul camerei clare se poate vedea dintr-o dată, atît câmpul microscopului, cît și hîrtia de desenat aflată pe masă, alături de microscop sub camera clară. Se poate astfel desena pe hîrtie imaginea din câmpul microscopului. Cu puțin exercițiu, se poate căpăta îndemînare în obținerea unor desene foarte exacte ale imaginilor microscopice.

7. MICROSCOPUL PENTRU MICROFOTOGRAFII

În loc de a proiecta imaginea reală, dreaptă ori inversată, a preparatului microscopic, așa cum am arătat la descrierea schematică a microscopului proiector, această imagine poate fi fixată pe un film, cu ajutorul unui aparat fotografic.

Se construiesc microscopae speciale pentru microfotografii (fig. 329), care redau cîmpul cu un diametru de 7—10 cm. Se poate folosi orice microscop pentru luarea microfotografiilor. În acest scop, în microscopul așezat în poziția verticală se iluminează puternic preparatul prin transparență, iar deasupra ocularului, ori în locul lui, se adaptează un aparat fotografic, la care se poate varia distanța dintre obiectivul fotografic și film.

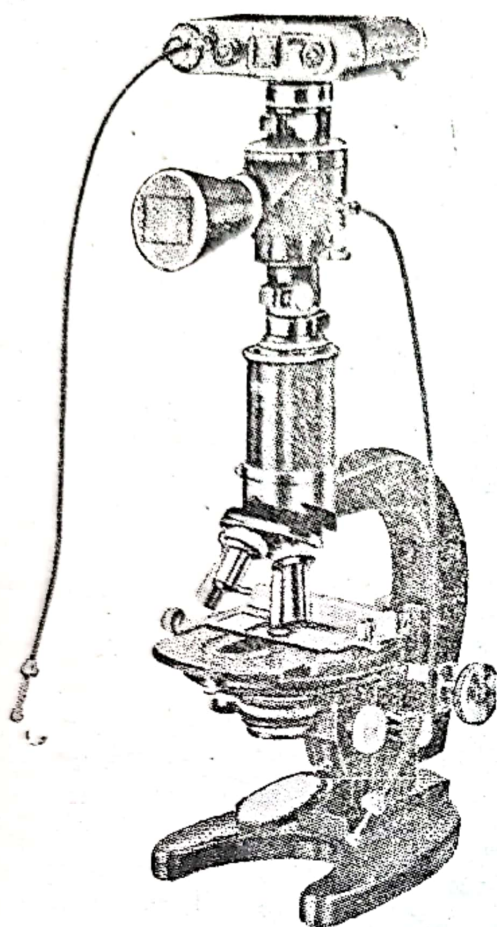
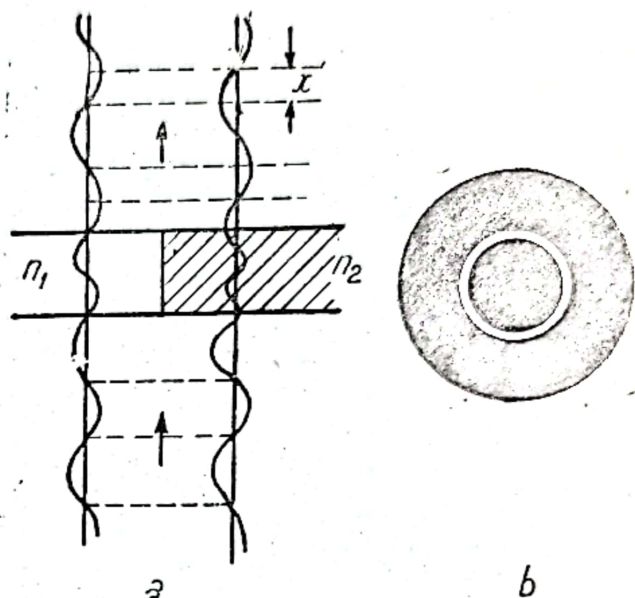


Fig. 329 — Microscop pentru microfotografii.



a — producerea diferenței de fază X la trecerea razelor de lumină prin două medii transparente de aceeași grosime, dar de indice de refracție diferit; b — producerea contrastului prin acoperirea izvorului luminos cu o placă de fază; lumina, trecînd prin inel, influențează difracția și provoacă apariția contrastelor.

Fig. 330 — Microscop cu contrast de fază.

8. MICROSCOPUL CU CONTRAST DE FAZĂ

Cu metodele de microscopie descrise pînă acum se pot examina numai obiectele care absorb inegal lumina ce străbate obiectul sau este reflectată de acesta și micșorează astfel intensitatea razelor care merg spre obiectiv. Obiectul are în aceste cazuri contraste.

În medicină și biologie se întîlnesc însă de multe ori obiecte care nu prezintă contraste, și deci nu sînt potrivite pentru un examen microscopic fără altă preparare. Pentru a se ușura examenul microscopic al unor asemenea obiecte, s-a introdus în tehnica microscopică procedeul colorării diferențiale a diferitelor părți ale obiectului. Acest procedeu astăzi foarte curent, pe lîngă că cere pentru fiecare nou fel de obiect de examinat o nouă colorație adecvată, dar introduce și un element străin în obiectul de observat, ceea ce nu-l lasă pe acesta totdeauna nealterat.

În afară de colorare, se poate folosi pentru diferențiere faptul că unele obiecte care nu prezintă contraste sînt de cele mai multe ori caracterizate prin indici de refracție diferiți, în diferitele regiuni.

Viteza luminii în diferitele medii fiind proporțională, după cum știm, cu indicele de refracție al acestora, apare în acest caz o diferență de fază din

cauza diferenței de drum ivite. Ochiul nostru nu percepe însă diferențe de fază ci numai diferențe de amplitudine, deci de intensitate luminoasă.

După fizicianul F. Zernicke, diferența de fază poate fi transformată în diferență de amplitudine, influențând o parte a imaginii inițiale cu ajutorul unei lame „sfert de undă”. Această lamă are grosimea calculată astfel încât lumina care o traversează se defazează cu un sfert de lungime de undă. La apariția imaginii secundare, razele care au străbătut lama sfert de undă interferează cu cele ce nu au străbătut lama; se obțin astfel maxime și minime parțiale. Aceasta înseamnă că diferența de fază datorită diferenței de drum a fost transformată în diferență de amplitudine deci de intensitate luminoasă. Amănuntele unui obiect, care nu prezentase mai înainte contraste, în lumina obișnuită, devin vizibile din cauza interferenței provocate cu ajutorul lamei sfert de undă. Figura 330 a redă graficul defazării necesare obținerii contrastului de fază.

Un alt procedeu pentru realizarea contrastului constă în acoperirea izvorului luminos cu o placă neagră (fig. 330b), care are un inel subțire, transparent, numit inel de fază. Lumina trecând prin inel luminează indirect obiectul fără contraste, iar interferența realizată prin difracție provoacă prin maximele și minimele produse apariția contrastului. Obiectul devine astfel vizibil la microscop în toate amănuntele sale, fără colorație.

Microscopul care este prevăzut cu astfel de dispozitive se numește microscop cu contrast de fază.

D. ULTRAMICROSCOPIA

La descrierea microscopului s-a arătat că dacă se mărește apertura numerică și se micșorează lungimea de undă a luminii în care se lucrează, se poate obține o putere rezolutivă mai mare a microscopului; avem astfel imagini care reproduc conturul real al obiectelor foarte mici examinate.

Puterea de rezolvare a microscopului nu poate fi însă mărită și mai mult din cauze obiective; nu putem folosi în microscopul optic o undă mai mică decât cea ultravioletă și nici nu putem mări apertura numerică dincolo de limitele practice permise de construcție și de calitățile fizico-chimice ale substanțelor întrebuintate la fabricarea sistemelor optice ale microscopului.

Ultramicroscopia constituie o metodă cu ajutorul căreia se poate urmări poziția și mișcarea unor categorii de particule ale căror dimensiuni sînt mai mici decât cele care pot fi văzute la microscop; metoda de examinare ultramicroscopică poate da și indicații asupra formei unor particule cum sînt cele coloidale.

1. PRINCIPIUL METODEI

Ultramicroscopia are la bază fenomenul Tyndall. Principiul metodei ultramicroscopice poate fi redat schematic astfel: se concentrează un fascicul puternic de lumină, obținut cu ajutorul unei lămpi electrice și al unui condensator (fig. 331) asupra unui vas de formă paralelipedică ce conține, de exemplu, un sistem cu grad mare de dispersie. Lumina, căzînd orizontal, dacă nu întâlnește particule mai mari decât moleculele, trece

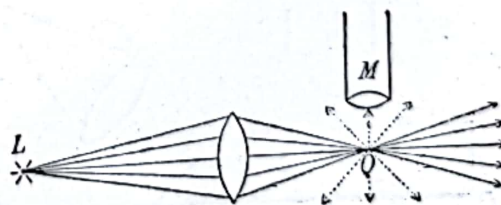


Fig. 331 — Principiul ultramicroscopului.

mai departe, așa că lichidul apare optic vid. Dacă însă există în soluție particule mai mari, cum sînt cele coloidale, dar destul de mici pentru a nu fi văzute la microscop, lumina orizontală este difuzată de acestea în toate direcțiile; o parte din această lumină difuzată intră și în obiectivul unui microscop așezat vertical, și dă figuri de difracție, care ne permit să urmărim poziția și deplasarea particulelor (mișcarea browniană), uneori ne dau și o indicație (destul de vagă, de altfel) asupra forme particulelor (alungită, sferică, ovoidală sau lamelară), așa cum s-a arătat la studiul coloizilor.

2. APARATE PENTRU ULTRAMICROSCOPIE

Aparatele folosite pentru ultramicroscopie se numesc ultramicroscope. Ele sînt de mai multe tipuri.

a) **Ultramicroscopul cu fantă** a fost construit în 1903 de H. Siedentopf și R. Zsigmondy. Aparatul a primit această denumire deoarece imaginea reală și foarte mică, dar intens luminată a unui arc electric, era formată în fantă aparatului de iluminat și era proiectată cu ajutorul unui sistem de lentile sub forma unui fascicul cu secțiunea dreptunghiulară, într-o cuvă care conținea o soluție coloidală. Particulele solului, luminate astfel puternic, dau fenomenul Tyndall și fiecare particulă, difuzînd lumina, devine un centru luminos, observat în cîmpul microscopului, a cărui axă este perpendiculară pe axa sistemului de iluminare.

Cu ajutorul ultramicroscopului se pot observa particule de 5 milimicroni și în anumite condiții se poate efectua și numărătoarea acestor particule cuprinse într-un volum dat. Se pot observa prin această metodă, nu numai particulele dintr-un mediu lichid sau gazos, ci și dintr-un mediu solid. Au fost studiate astfel sticle colorate, cum este sticla roșie a cărei colorație este datorită prezenței unor fine particule coloidale de aur sau de cupru dispersate în sticlă.

b) **Ultramicroscopul cu imersie.** În afară de ultramicroscopul cu fantă, s-a construit și un ultramicroscop cu imersie (R. Zsigmondy, 1914). Iluminînd foarte puternic mediul de examinat, se poate urmări prin această metodă mișcarea particulelor pînă la 2 milimicroni.

c) **Condensatoare ultramicroscopice.** Pe lîngă ultramicroscopele propriu-zise, care sînt aparate de manipulare mai greoaie, au fost construite, chiar la începutul dezvoltării ultramicroscopiei, diferite dispozitive ultramicroscopice, care se adaptează la microscopicele obișnuite. Înlăturînd condensatoarele obișnuite de lumină, aflate sub platina microscopului, și înlocuindu-le cu dispozitive de iluminare laterală, se pot face cu orice microscop observații ultramicroscopice.

Aceste dispozitive, numite condensatoare ultramicroscopice, se caracterizează prin faptul că lumina pătrunde în dispozitiv printr-un sistem optic special, deasupra căruia se află obiectul de examinat. Sistemul optic este

astfel construit încît raza de lumină, trecînd prin el, traversează obiectul în direcție laterală și dă efectul Tyndall, fără să pătrundă în obiectivul microscopului.

Primul condensator ultramicroscopic a fost construit de fizicienii Cotton și Mouton, în anul inventării ultramicroscopului cu fantă (1903). Condensatorul Cotton și Mouton constă

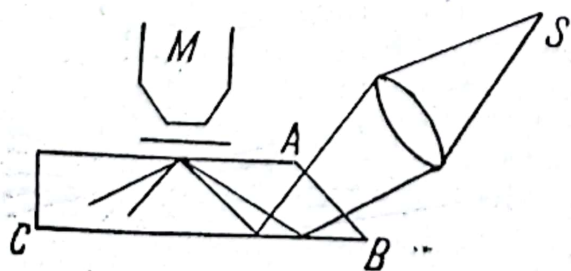


Fig. 332 — Schema condensatorului ultramicroscopic Cotton-Mouton.

dintr-un paralelipiped de sticlă (fig. 332), avînd una din fețe oblică. Un fascicul puternic de lumină, căzînd perpendicular pe fața oblică, trece prin ea nerefractat, dar se reflectă total pe fața orizontală a piesei de sticlă. Raza reflectată total intră în preparatul microscopic (de pildă, o picătură de sol coloidal, acoperită cu o lamelă) și, fiind supusă aci unei noi reflexii totale, la limita sticlă-aer, trece din nou în lichid. Se produce astfel o iluminare laterală a lichidului și a particulelor coloidale din el, care devin vizibile prin difuzarea luminii în câmpul microscopic.

Un condensator ultramicroscopic perfecționat este *cardioidul lui Siedentopf* (fig. 333). Acest dispozitiv are la partea inferioară o diafragmă centrală 3 care dă un câmp întunecat și permite astfel să se vadă în microscop razele 2 difuzate de corpusculi sub formă de puncte luminoase pe un fond întunecos.

Un condensator similar, mult întrebuițat în microscopie, este *paraboloidul lui Siedentopf* (fig. 334), numit astfel din cauza formei sale.

La acest fel de condensatoare, o diafragmă *B* obturează baza dispozitivului *G* lăsînd transparentă numai o zonă circulară, aproape de periferia condensatorului. Razele de lumină care străbat prin această zonă transparentă se reflectă de mai multe ori și ajung lateral sub un unghi foarte mare la obiectul de pe lama microscopului, pe care-l luminează aproape orizontal.

Nu are loc refracția, așa că nu avem nici fenomene cromatice. Focarul tuturor razelor care luminează lateral obiectul se află în punctul *O*. Razele difuzate sînt desenate punctat în figură. Dispozitivele de ultramicroscopie, adaptate unui microscop de putere rezolutivă mare, permit astfel prin efecte de contrast să se vadă mișcarea particulelor.

Într-o soluție moleculară, difuzarea luminii de către molecule este atît de slabă încît poate fi neglijată. Se pot însă descoperi ușor existența, deplasarea și chiar forma particulelor coloidale de cîtiva milimicroni, adică de 10—20 de ori mai mari decît moleculele.

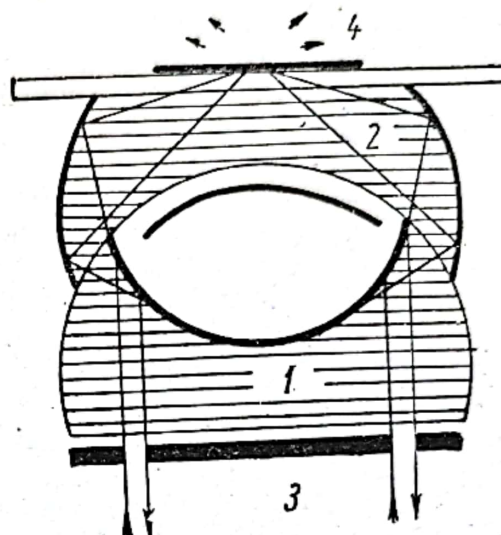
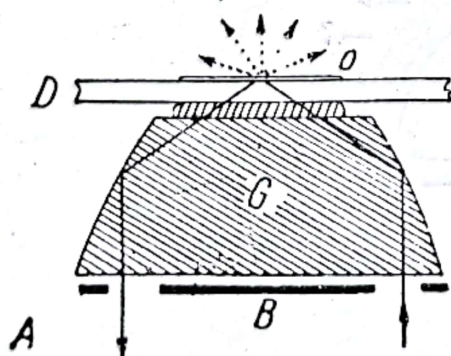
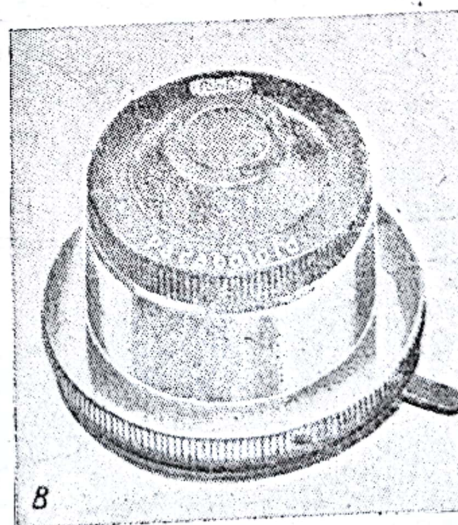


Fig. 333— Condensatorul cardioid.



a — schema; b — construcția.
Fig. 334— Paraboloidul lui Siedentopf.



Avantajul oferit de diferitele tipuri de condensatoare ultramicroscopice, construite de la 1903 pînă în prezent, este ușurința utilizării; în adevăr, aceste dispozitive nu necesită un sistem optic complicat de iluminare, așa cum este cazul la ultramicroscopul cu fantă, chiar în construcțiile lui mai moderne, și pot fi adaptate la ori ce microscop.

3. VIZIBILITATEA LA ULTRAMICROSCOP

Vizibilitatea ultramicroscopică depinde în primul rînd de intensitatea luminii dată de sursa luminoasă. Cele mai bune aparate de iluminat sînt din acest punct de vedere cele care folosesc lumina Soarelui. Complexitatea luminii solare și posibilitatea limitată de utilizare a acestei surse de lumină, cu timpul și locul de lucru, nu permit însă intrarea acestei metode de iluminare în practica de laborator.

În 1938 a fost propusă pentru iluminarea aparatelor ultramicroscopice lampa cu vapori de mercur, de înaltă presiune, care dă o lumină de intensitate egală cu cea a Soarelui. Cu o astfel de iluminare, intensitatea luminii difuzată de particule se mărește atît de mult, încît se pot face fotografii instantanee cu o expunere de 0,2 — 0,05 secunde.

Fizicianul rus P. P. Vaimarn a propus, în 1907, folosirea luminii ultraviolete în studiul ultramicroscopic al diferitelor particule de un grad de dispersie înaintat.

Folosind o iluminare puternică se poate realiza, în coloidologie, numărarea particulelor: se utilizează în acest scop diafragme oculare cu suprafață cunoscută și jgheaburi foarte fine, de anumită adîncime, care poate atinge chiar un micron: se pot astfel număra și calcula, prin formule stabilite, numărul de particule dintr-un volum dat de soluție coloidală.

IX. OPTICA FIZIOLOGICĂ

A. OCHIUL

Ochiul are forma unui glob aproape sferic, cu diametrul de 22 mm.

Învelișul extern este constituit de sclerotică, care acoperă globul ocular pe 5/6 din suprafața sa, restul fiind constituit din corneea transparentă, aflată în partea anterioară.

Sclerotica este o membrană dură. Ea este învelită pe dinafară de o membrană mucoasă numită

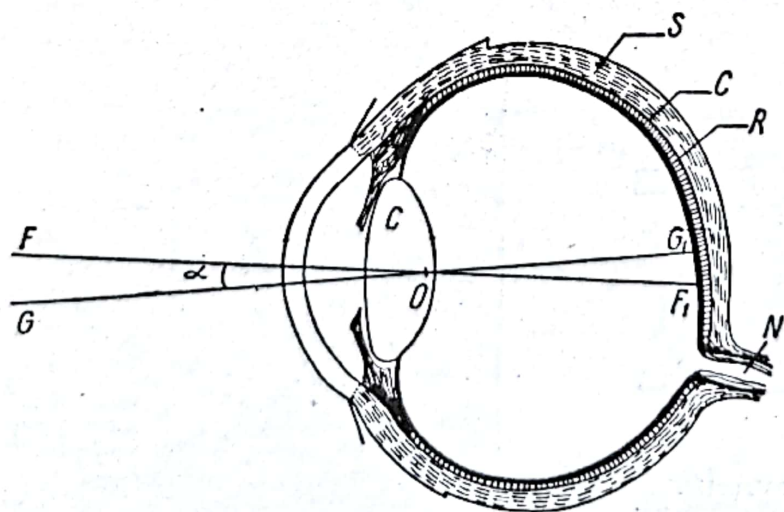


Fig. 335 — Ochiul (secțiune schematică).

conjunctiva, care captește și interiorul pleoapei. Corneea este formată dintr-un țesut transparent; grosimea ei crește de la centru spre periferie, unde atinge grosimea de circa 1 mm (fig. 335).

Aderentă de suprafața interioară a scleroticii se află coroida, formată dintr-un țesut conjunctiv puternic vascularizat.

Înspre partea anterioară, coroida este îngroșată și formează corpul ciliar; acesta este format în parte din mușchiul ciliar, constituit din două grupe de fibre netede, unele rectilinii în direcția meridianului ochiului, altele circulare, la periferia corneei.

Coroida este căptușită pe dinăuntru cu un strat de celule exagonale regulate, umplute cu pigment negru, care absoarbe lumina neutilizată de ochi și împiedică reflecția ei difuză în interiorul ochiului.

Coroida se continuă cu irisul, care formează un ecran vertical în grosime de 0,3 mm, avînd o deschidere centrală, pupila; irisul funcționează ca o diafragmă. Fața anterioară a irisului, colorată diferit la diferiții oameni, se vede bine prin corneă; fața posterioară este căptușită cu celule pline de pigment negru care continuă pe cele ale coroidei. Irisul este constituit din fibre de țesut conjunctiv și fibre musculare netede, circulare, care formează un sfincter.

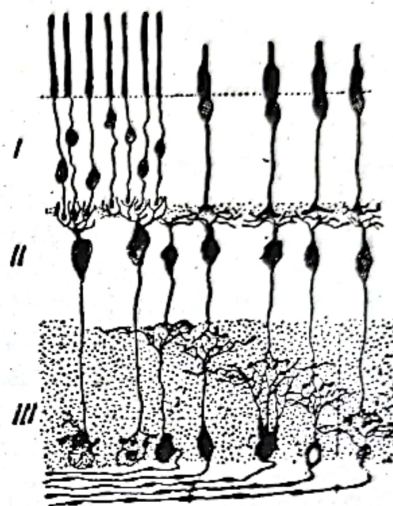
Retina este membrana cea mai internă a globului ocular. Ea este constituită din prelungirea nervului optic și se întinde pînă la zonula lui Zinn. Grosimea totală a retinei este de 0,4 mm; din toate straturile care o formează, cel mai important este cel cu conuri și bastonașe, prelungire diferențiată a celulelor nervoase terminale ale nervului optic. Partea terminală a bastonașelor conține o substanță colorantă numită purpura retiniană; un pigment negru format în celulele păturii externe a retinei poate umple spațiile cuprinse între segmentele externe ale conurilor și ale bastonașelor. Retina are o regiune de formă ovală, foarte limitată (2 mm^2), de aspect gălbui (*macula lutea*), unde ea se subțiază; aci lumina cade direct pe elemente senzoriale. Centrul petei galbene se numește *fovea centralis*. După unele teorii, prin mijlocirea conurilor se sesizează formele și calitatea luminii, deci culoarea ei, iar prin bastonașe, cantitatea luminii, adică intensitatea ei.

În fig. 336 sînt redată schematic elementele senzoriale ale retinei.

Globul ocular conține trei medii transparente, și anume: umoarea apoasă, umoarea sticloasă și cristalinul, care le desparte. Umoarea apoasă ocupă tot spațiul cuprins între corneă și fața anterioară a cristalinului. Umoarea sticloasă ocupă tot spațiul dintre fața posterioară a cristalinului și fibrele zonulei; ea este o substanță omogenă și transparentă, și este înconjurată de o membrană transparentă numită hialoidă.

Cristalinul, care desparte cele două compartimente ale ochiului, are formă de lentilă biconvexă, menținută de fibrele zonulei lui Zinn; aceste fibre, desfăcîndu-se din regiunea ciliară, se termină unele în fața anterioară și altele în cea posterioară a cristalinului. Cristalinul posedă un înveliș elastic constituit dintr-o membrană subțire numită cristaloidă, care cuprinde un sistem de fibre transparente așezate în pături concentrice. Puterea lui refringentă crește de la periferie spre centru. Cristalinul este fixat înapoia irisului cu ajutorul ligamentului suspensor.

Sub acțiunea diferiților mușchi, globul ocular este mobil în toate direcțiile.



I — celulele vizuale externe;
II — celulele bipolare;
III — celulele ganglionare.

Fig. 336 — Elementele nervoase ale retinei.

1. OCHIUL CA SISTEM OPTIC

Ochiul este compus din trei dioptri curbi aproape sferici care sînt convergenți, deoarece au concavitatea îndreptată spre mediul mai refringent. Acești trei dioptri formează un sistem optic centrat, cu axa principală comună și avînd centrul de curbura al celor trei suprafețe de separație pe aceeași linie dreaptă, care este axa de simetrie a mediilor refringente ale ochiului.

Elementele optice ale acestor dioptri au fost determinate de numeroși cercetători, începînd cu Helmholtz. Astfel, raza de curbura a corneei variază în raport cu înălțimea și sexul subiectului. Curbura este mai accentuată la femei și în general la persoanele mărunte. Se admite că raza de curbura a corneei are în medie mărimea de 8 mm.

Razele de curbura ale cristalinului sînt deosebite pentru cele două fețe ale lui. Aceste raze sînt diferite și pentru acomodarea pentru distanță sau apropiere. Pentru starea de repaus a ochiului, realizată cu instilații de atropină, ochiul vede numai de departe; în acest caz, are raza de curbura de 10 mm pentru fața anterioară și 6 mm pentru cea posterioară.

Indicii de refracție ai mediilor transparente ale ochiului se pot măsura cu înlesnire prelevînd o cantitate mică de substanță și examinînd-o la refractometrul Abbe. Se constată astfel că indicele de refracție al umorii apoase este de 1,337, iar cel al umorii sticloase de 1,336, valori foarte apropiate de cea a indicelui de refracție al apei distilate ($n = 1,333$).

Examinînd la refractometru fragmente de cristalin, din diferitele regiuni ale acestuia, se observă că lentila oculară nu este optic omogenă și că indicele de refracție al diferitelor straturi merge crescînd de la periferie spre centru. Helmholtz a arătat că, datorită măririi indicelui de refracție de la periferie spre centrul cristalinului, acesta are o convergență superioară celei pe care ar avea-o o lentilă omogenă de aceeași formă geometrică și al cărei indice ar fi egal cu cel al părții centrale, care este cea mai refringentă.

Indicele de refracție al diferitelor straturi ale cristalinului este diferit: stratul extern are $n = 1,388$, cel mediu 1,406 iar nucleul cristalinului 1,410; acești indici cresc cu vîrsta. O lentilă omogenă, care să dea același efect ca și cristalinul, trebuie să aibă următorii indici de refracție: la 2 — 3 ani, $n = 1,430$; la 16 ani, $n = 1,436$; la 47 ani, $n = 1,441$.

Corneea poate fi considerată ca o lamă foarte subțire, cu fețe paralele; în aceste condiții, refracția prin corneă este negliabilă.

2. OCHIUL REDUS

Sistemul centrat al celor trei dioptri oculari comportîndu-se ca un singur dioptru cu convexitatea spre aer, ochiul normal se înlocuiește în cercetări cu un ochi schematic numit „ochi redus”.

S-au propus numeroase scheme pentru ochiul redus (Listing, Landolt, Donders, Gullstrand etc.).

Ochiul redus folosit mai adesea în cercetări are următoarele caracteristici: raza de curbura 5 mm, distanța focală anterioară 15 mm, distanța focală posterioară 20 mm, indicele de refracție

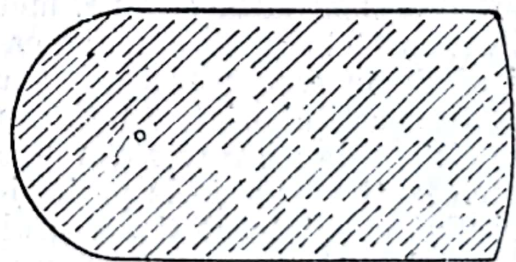


Fig. 337. — Ochiul redus.

1,333. Aparatul care reprezintă ochiul redus pentru experimentare este un tub cilindric de metal (fig. 337) avînd la capăt un dioptru de sticlă foarte subțire, cu raza de curbură de 5 mm. La partea opusă, tubul intră în altul terminat cu o sticlă mată care reprezintă retina. În acest tub se află apă distilată. Variînd axa antero-posterioară prin manipularea tuburilor și avînd grijă ca aparatul să fie totdeauna plin cu apă se pot studia toate anomaliile de retină modelate prin ochiul redus.

3. ACȚIUNEA LUMINII ASUPRA RETINEI

Factorul obiectiv în procesul vederii este lumina. Acțiunea ei asupra retinei constituie excitantul analizorului vizual. Acțiunea luminii asupra retinei dă naștere la fenomene fotochimice și electrice complexe, care determină impulsuri nervoase transmise de la receptorul periferic la scoarța cerebrală, unde procesele nervoase capătă propriități calitative noi, ce caracterizează senzația vizuală. Pentru explicarea acestei transformări a radiațiilor luminoase în senzații, prin reflectarea fenomenului fizic obiectiv în organismul nostru, s-au enunțat o serie de teorii fotochimice și electrice.

a) **Fenomenele fotochimice.** Ipoteza fotochimică se bazează pe diferite experiențe din care descriem următoarea: se ține un animal cîtva timp într-o cameră obscură, apoi se așază brusc înaintea lui un obiect luminat; se sacrifică imediat animalul, se scoate ochiul în întuneric și se introduce într-o soluție de alaun. Purpura retiniană se comportă ca sărurile de argint de pe clișeele fotografice: pe retină se obține, prin fixare cu alaun, negativul obiectului luminos privit de animal înaintea sacrificării.

Ipoteza fotochimică nu explică însă suficient fenomenul. Astfel, pata galbenă, cea mai sensibilă regiune a retinei, nu conține purpură retiniană. Elementele fotosensibile ale retinei au o sensibilitate diferențială: bastonașele sînt mai sensibile față de lumină, pe cînd conurile au însușirea de a deosebi culorile. De aceea, vederea colorată apare numai la iluminări suficiente, cînd conurile sînt mai bine excitate.

Procesul fizico-chimic care determină fotosensibilitatea bastonașelor din retină a fost studiat de numeroși cercetători și s-au emis, pe bază de experimentări, teorii fotochimice ale vederii. Am arătat că bastonașele sînt colorate în segmentul terminal cu un pigment roșiatic (purpura retiniană). Aceasta se poate descompune sub acțiunea luminii, ceea ce constituie un proces fotochimic caracteristic. Produsele de descompunere provoacă excitarea nervului optic și declanșează o serie de procese fiziologice care se termină cu senzația vederii. Culoarea roșie a purpurei retiniene explică sensibilitatea sporită a aparatului vizual, în amurg, pentru culoarea albastră și în general pentru radiațiile cu lungime de undă mai scurtă, din spectrul luminii obișnuite.

Încercările repetate au arătat că, sub acțiunea unei iradierii puternice, purpura bastonașelor se descompune în întregime și bastonașul își pierde astfel fotosensibilitatea. Fenomenul este cunoscut din experiența zilnică, cînd suferim fenomenul de orbire temporară din cauza unei lumini puternice. Această purpură este însă produsă din nou în elementele retinei, așa că după cîtva timp sensibilitatea bastonașelor este restabilită. Ochiul se poate astfel adapta la iluminări variabile, la lumină sau la întuneric.

Perceperea luminii, acțiunea comurilor și perceperea culorilor vor fi tratate succint în paragrafele următoare.

În ochi au loc și fenomene fizice de reglare a intrării razelor de lumină. Astfel, sub acțiunea luminii, în retină începe migrarea pigmentului de culoare închisă care căptușește fundul ochiului; acest pigment negru este

format în celulele stratului cel mai extern al retinei și poate umple spațiile cuprinse între părțile externe ale conurilor și bastonașelor. Pigmentul migrează spre suprafața retinei și datorită acestui fapt elementele fotosensibile sînt apărute, în anumită măsură, de acțiunea luminii prea strălucitoare. La slăbirea luminii migrarea pigmentului negru se face în sens invers.

b) **Fenomenele electrice în retină.** În retină, la fel ca și în alte formații anatomice, au loc fenomene electrice. Sub influența luminii au loc în ochi fenomene electrice de două feluri: modificări de potențial electric din retină și curenți de acțiune în nervul optic, care apar în decursul transmiterii impulsurilor nervoase. Pe o retină izolată de pește, de exemplu, se observă un curent de la interior către exterior, stratul intern de conuri și bastonașe comportîndu-se negativ. La retina de broască izolată, ținută într-o cameră întunecoasă, în apropierea unei lămpi electrice, se pot observa curenți de acțiune. Iluminatul brusc și intens al retinei cu lumină albă sau colorată produce oscilații complexe ale curentului retinian; dacă se așază un electrod sub pleoapă și celălalt în regiunea temporală, se poate înregistra cu ajutorul oscilografului catodic o electroretinogramă, care redă modificările de potențial ce apar în retină în timpul acțiunii luminii.

În elementele epiteliale ale retinei se produce o forță electromotoare de 2 — 17 mV. Polul corneean este electropozitiv, iar cel posterior este electronegativ.

Excitantul retinei este lumina, adică radiațiile electromagnetice cu frecvența cuprinsă între limitele vizibile ($\lambda = 3\,800 - 7\,600 \text{ \AA}$). Unele animale văd și o parte din radiațiile invizibile pentru ochiul omenesc.

4. CARACTERELE OPTICE ALE SISTEMULUI OCULAR

Imaginea unui corp luminos care se află la o distanță de 30 cm de ochi se formează pe retină. Aceasta se poate verifica cu diferite aparate, dintre care cel mai potrivit este oftalmoscopul. Putem verifica însușirea de dioptru convergent a ochiului printr-o experiență foarte simplă. Dacă se ia ochiul unui animal mare, de curînd sacrificat, și se înlătură sclerotica, se poate vedea formată pe retină imaginea obiectelor aflate în fața corneei, întocmai cum am vedea pe placa mată de sticlă a unui aparat fotografic imaginea corpurilor aflate înaintea obiectivului.

Ochiul are numeroase imperfecțiuni; un mecanism complicat remediază unele din ele, făcînd ca imaginea să se formeze clar pe retină.

Examinînd pe rînd, din punct de vedere optic, elementele ochiului, se constată că dioptrul ocular nu este perfect. Corneea nu este perfect sferică: raza de curbură este mai mică la centru și mai mare la periferie. Imaginile formate prin partea centrală sînt mai confuze.

a) **Aberația de sfericitate.** Nu toate razele care traversează dioptrul ocular au focarul în același punct; punctele focale se înșiră de-a lungul unei linii focale așezate pe axa principală a ochiului, așa cum am arătat la descrierea lentilelor. Razele, neîntîlnindu-se toate pe retină, nu formează un punct luminos, ci mici cercuri de difuziune.

Irisul suprimă o parte din fasciculul luminos, și anume cel periferic, astfel că linia focală se micșorează și imaginea se poate forma ca un punct pe retină. Irisul are rolul de diafragmă, eliminînd astfel cît mai mult posibil consecințele aberației de sfericitate a dioptrului ocular.

b) **Distorsia.** Defectul de distorsie a dioptrului ocular este eliminat de turtirea bazală a corneei. Corectarea este uneori perfectă, alteori este însă

mai mică sau mai mare decât cea necesară unei vederi clare. Examinarea se face cu aberoscopul.

Aberoscopul constă dintr-o lentilă pe care se află gravat un grilaj rectilin (fig. 338-2). Apropiat de ochi, acesta dă pe retină diferite imagini. Astfel, imaginea ia uneori forma de butoiuș (1) ceea ce arată că distorsia nu este suficient de corectată; ea poate lua forma de toartă de coș (3), ceea ce este un indiciu de supracorectare; cînd corectarea e bună (2), imaginea are forma grilajului; în acest caz, dioptrul ocular se numește aplanetic.

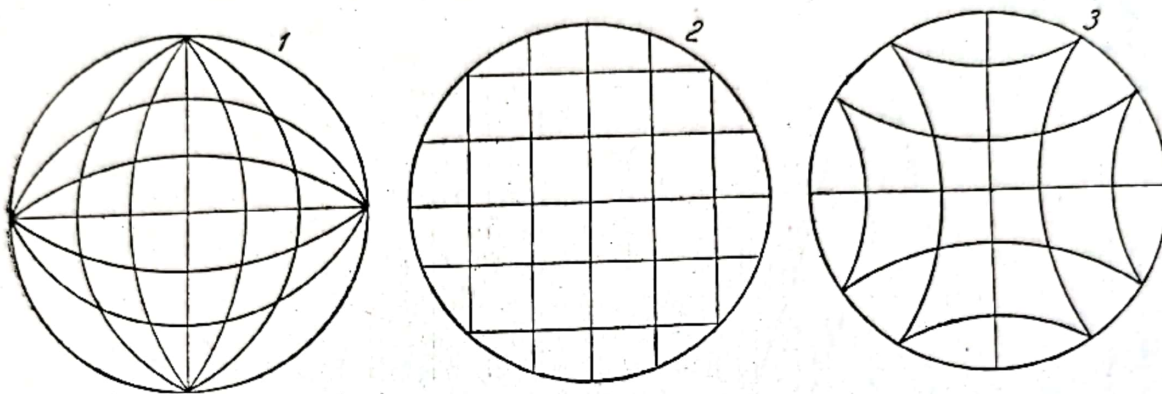


Fig. 338 — Aberoscopul.

c) **Aberația cromatică.** Irisul se modifică astfel încît pupila se dilată la lumină mai slabă și lasă să intre lumină mai multă. Acoperind periferia cristalinului, irisul corectează aberația cromatică ce se formează ca la orice lentilă. Diafragma ocularului microscopului sau cea a altor aparate optice are rolul irisului.

În general, puterea dispersivă a ochiului este mică, așa că ochiul, deși nu poate fi în același timp adaptat exact pentru un obiect roșu și unul albastru, așezate la aceeași distanță, totuși distanța cuprinsă între focarul razelor roșii și al celor albastre nu trece de 0,5 mm.

B. PERCEPEREA LUMINII

Senzația vizuală subiectivă este rezultatul excitării nervului optic prin iluminarea retinei.

Sistemul optic al ochiului dă pe retină o imagine reală, inversată și mai mică a obiectelor aflate în afara ochiului. Intensitatea senzației este dată de iluminarea provocată pe retină de fluxul luminos care pătrunde în ochi. Din elementele fotosensibile ale retinei, numărul conurilor atinge 7 000 000, iar numărul bastonașelor trece de 100 000 000. Zonele periferice ale retinei conțin numai bastonașe, în timp ce conurile sînt așezate mai ales în partea centrală a retinei. În locul prin care intră nervul optic în ochi, lumina nu este percepută (pata oarbă).

1. VEDEREA DIURNĂ ȘI VEDEREA CREPUSCULARĂ

Conurile și bastonașele au roluri diferite în formarea senzației vizuale. Bastonașele au o sensibilitate mult mai mare decât conurile, dar nu funcționează ca elemente de distingere a culorilor. Senzația de culoare se produce numai la excitarea conurilor. Afară de aceasta, regiunile retinei care

conțin conurile permit să se distingă mult mai multe detalii decât regiunile care conțin bastonașe.

Ochiul omenesc are deci două facultăți distincte de percepere. Una din ele, legată de excitarea conurilor, funcționează la iluminări suficient de mari și permite distingerea culorilor și perceperea unui mare număr de amănunte. Aceasta se mai numește și *vedere diurnă*. A doua percepere este legată de excitarea bastonașelor și se numește *vedere crepusculară*. Întrucât bastonașele sînt situate îndeosebi la periferia retinei, vederea crepusculară se mai numește și *vedere periferică*. De obicei, ambele moduri de vedere funcționează simultan, într-o măsură mai mare sau mai mică; în cazul

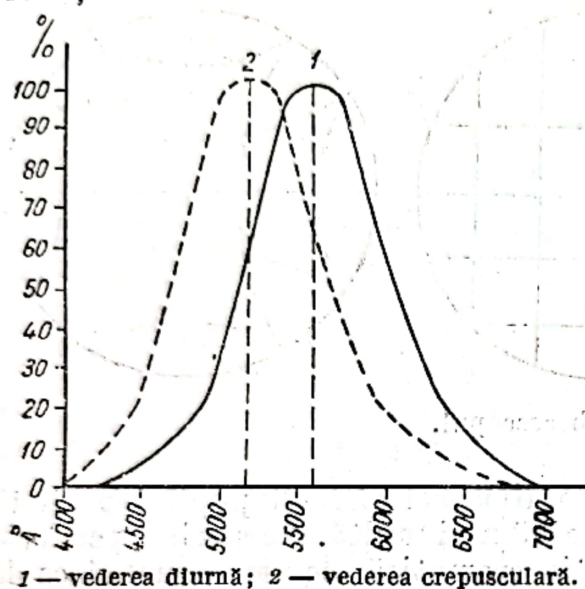


Fig. 339 — Curba de sensibilitate spectrală.

iluminărilor foarte slabe, funcționează numai vederea crepusculară.

La trecerea de la iluminări mari la iluminări mici, bastonașele nu ating deodată sensibilitatea maximă, din care cauză trecerea de la vederea diurnă la cea crepusculară se face relativ încet.

Se știe că dacă trecem ziua de pe o stradă luminoasă într-o încăpere slab luminată sau întunecoasă (sală de cinematograful etc.), nu vedem la început nimic. Treptat, pe măsură ce ochiul se obișnuiește, începem să distingem obiectele. Procesul de intrare în funcțiune a vederii crepusculare se numește „adaptare”. Pentru ca fenomenul de adaptare să se facă aproape

complet, trebuie să menținem ochii în întuneric câteva minute.

Sensibilitatea ochiului perfect adaptat este foarte mare; ochiul poate reacționa la fluxuri luminoase de ordinul a $4 \cdot 10^{-10}$ ergi/s. Pentru razele verzi, aceasta corespunde unei iluminări la pupilă de ordinul a $5 \cdot 10^{-10}$ lx. Fluxul luminos minim, capabil să producă la un ochi adaptat o senzație vizuală, se numește prag de sensibilitate spectrală.

La lumina zilei, ochiul este capabil să recepționeze fluxuri pînă la 200 ergi/sec. La puteri mai mari apar senzații de durere și se pot produce vătămări ale retinei. Vătămările pot avea loc și în cazul unei treceri extrem de rapide de la fluxuri mici la fluxuri mari, chiar dacă acestea nu depășesc limita pe care ochiul o poate suporta, în general, fără durere.

Sensibilitatea vederii crepusculare este diferită pentru lumina de lungimi de undă diferite. Vederea crepusculară se poate caracteriza în funcție de sensibilitatea spectrală a vederii diurne, prin curbele din fig. 339. Maximul curbei 2 (vederea crepusculară) este deplasată în zona lungimilor de undă mai scurte față de curba 1, care arată sensibilitatea spectrală a vederii diurne; el se găsește la aproximativ $\lambda = 5100 \text{ Å}$. Creșterea sensibilității pentru undele mai scurte în amurg este cunoscută încă de mult, sub numele de *fenomenul lui Purkinje*.

Trecerea de la vederea diurnă la cea crepusculară și particularitățile acesteia din urmă se pot stabili experimental proiectînd într-o încăpere întunecoasă, pe un ecran, două semicercuri de culori diferite, de exemplu unul roșu și unul albastru, la fel de strălucitoare. Se micșorează treptat lumina care servește la proiectarea concomitentă a celor două semicercuri (de exemplu,

cu ajutorul unui dispozitiv de extincție prin polarizare). La iluminări foarte slabe, semicercul albastru apare mai strălucitor decât cel roșu, iar la slăbirea și mai înaintată a fluxului luminos, semicercul roșu dispare înaintea celui albastru. Semicercul albastru își pierde culoarea și pare cenușiu. De altfel se știe din experiență că, pe inserat, obiectele albastre par albe, pe cînd cele roșii par negre.

2. VEDEREA CULORILOR

Culorile simple, adică cele în care se descompune lumina Soarelui la trecerea printr-o prismă: roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo și violet, sînt văzute cu oarecare claritate de ochiul nostru. Uneori indigoul nu este prea deosebit de cîmpul dintre albastru și violet. Unii autori vorbesc de 6 culori simple, omițînd indigoul, alții îl înlocuiesc cu ultramarinul, care este o culoare ce se poate deosebi de albastrul propriu-zis. Unii oameni văd în spectrul luminii albe, dincolo de violet, un cîmp cenușiu sau albastru de culoarea florii de lavandă.

Studiul vederii culorilor simple a arătat că perceperea culorilor depinde de anumiți factori:

1. Coeficientul de vizibilitate pentru culoarea simplă respectivă este egal cu raportul dintre fluxul luminos exprimat în lumeni și fluxul de energie exprimat în wați. Acest coeficient are valoarea zero pentru toate radiațiile dinafara spectrului vizibil și este maximum pentru radiația verde-gălbănă cu lungimea de undă egală cu 5 550 Å.

2. Influența intensității luminoase asupra senzațiilor cromatice: o aceeași culoare dă senzații deosebite, în funcție de intensitatea luminii respective. Pentru intensități mijlocii, senzația nu variază, pentru toate culorile, cu intensitatea; astfel, Soarele pare că dă o lumină albă.

În legătură cu acțiunea luminii asupra retinei trebuie să menționăm fenomenul de combinare a culorilor simple. Radiațiile de lumină monocromatică, impresionînd fiecare separat retina, dau senzația unei anumite culori. Dacă însă retina este impresionată deodată de două radiații simple, ea are senzația unei culori deosebite. Combinarea culorilor simple două cîte două dă culori noi: astfel, roșul și violetul dau culoarea roșu-purpuriu. Violetul și galbenul-verzui, combinate, dau culoarea albă, care nu există ca atare în spectrul luminii obișnuite; la fel dau culoarea albă albastrul și galbenul, verdele și roșul, albastru-verzui și portocaliul. Toate aceste perechi de culori dau un alb identic; ele se numesc culori complementare.

Combinînd două culori necomplementare se obțin culori intermediare ale componentelor. Astfel, portocaliul și verdele dau galbenul, care este chiar culoarea aflată între ele în spectru. Violetul și albastrul dau indigoul. Dacă cele două culori necomplementare sînt mai distanțate în spectru, culoarea este mai aproape de cea albă; astfel, culoarea violet și cea verde dau un albastru albicios.

Toate aceste fapte au condus pe cercetătorii secolului trecut la concepția existenței a trei culori fundamentale care dau lumina albă: roșul, verdele și violetul. Amestecate în proporții convenabile, ele pot da toate culorile, dar mai mult sau mai puțin amestecate cu alb. Experiența arată însă că există și alte trei culori fundamentale: verde, violet-albastru și portocaliu; privind o fotografie în culori făcută pe baza acestor trei culori fundamentale (tricromie), avem senzația tuturor culorilor.

Am arătat că, dintre elementele nervoase terminale ale retinei, conurile par a fi sensibile la excitațiile cromatice. Excitația este de natură chimică.

În ce privește formele, s-a demonstrat că se formează pe retină, sub acțiunea luminii, adevărate imagini care dispar treptat; aceste imagini se formează datorită substanței fluorescente numită purpura retiniană, produsă de epiteliul pigmentar al retinei și conținută numai în bastonașe. Lumina albă albește purpura retiniană; razele calorice obscure sînt fără acțiune.

Kuehne a obținut pe retina de iepure, după un minut imagini nete sau optograme ale unor obiecte aflate la o distanță de 25 cm de ochiul animalului; imaginile au fost fixate cu o soluție de alaun 4%.

Toate experimentările făcute în secolul trecut au dus la formularea teoriei lui Young și Helmholtz privind vederea culorilor. După această teorie, există trei feluri de elemente nervoase care pot fi excitate la maximum: unele sînt excitate de radiațiile roșii, altele de cele verzi și celelalte de cele violete. Fiecare element poate fi excitat și de alte radiații, dar într-un grad mai scăzut. Astfel, o radiație portocalie influențează puternic elementele sensibile la roșu, mai puțin pe cele sensibile la verde și cu mult mai puțin pe cele sensibile la violet. Senzația de culoare portocalie rezultă din suprapunerea acestor trei excitații diferite și neegale. Dacă cele trei elemente nervoase sînt excitate în mod egal, percepem lumina albă.

Lucrări recente (Granit, 1946) stabilesc experimental existența în retină a unor elemente care permit perceperea culorilor, elemente bănuite de Young și Helmholtz în secolul trecut. Procesul complex al percepției culorilor nu este nici astăzi lămurit în întregime.

3. MECANISMUL ADAPTĂRII VIZUALE

Adaptarea ochiului la diferite străluciri se produce în două feluri: prin reflexul pupilar și prin migrația pigmentului retinian.

a) **Reflexul pupilar la lumină.** Diametrul deschiderii irisului este influențat de strălucirea și întinderea cîmpului luminos. Diametrul acestei deschideri este maxim în întuneric (8 mm), descrește rapid pentru iluminări pînă la 10 lx, apoi descrește mai lent pentru iluminări pînă la 200 lx și atinge 3 mm în plină lumină solară. Durata de micșorare a diametrului pupilei de la 8 la 3 mm este de aproximativ o secundă pentru un iris odihnit.

b) **Migrația pigmentului retinian.** Cînd retina se află la întuneric, purpura retiniană este retrasă în epiteliul pigmentar și lasă libere celulele vizuale. Imediat ce o porțiune de retină este iluminată, pigmentul, care are mobilitate, coboară între conuri și bastonașe, reducînd astfel suprafața pe care aceste celule o prezintă luminii. Acest fenomen este mult mai lent decît reflexul pupilar.

Adaptarea de la lumină la întuneric cere mai mult timp decît adaptarea inversă, de la întuneric la lumină.

4. SENZAȚIA LUMINOASĂ A CULORILOR

Sensibilitatea ochiului la culori este foarte variată, depinzînd de natura radiațiilor. Există un prag luminos și un prag cromatic al percepției culorilor. Se observă că, atunci cînd iluminarea scade mult, culorile devin șterse, în timp ce formele obiectelor se mai disting încă bine.

Se numește interval fotocromatic raportul dintre pragul cromatic și pragul luminos. Exemple de intervale fotocromatice sînt: roșu 3; portocaliu 5,5; galben 10; verde 4,6; albastru-închis 62,5. Acest interval merge crescînd de la centrul retinei spre periferie. Aceste caracteristici stau la baza folosirii în semnalizare, la circulația urbană, feroviară, maritimă etc., a culorilor roșu, galben, verde.

5. ORBIREA

„Orbirea“ produsă asupra ochiului de strălucirea excesivă a unei surse luminoase de la care ochiul primește razele direct este un fenomen neplăcut, adesea dureros, care nu trebuie însă confundat cu lipsa totală de vedere. Lumina orbitoare produce o tulburare a vederii (aceasta explică, de exemplu, unele accidente de circulație).

Orbirea temporară se produce printr-o insuficiență de adaptare. Prin trecerea bruscă de la întuneric la lumină, ochiul orbit, în primul moment, se obișnuiește repede, vederea se ameliorează într-un timp scurt.

Un filament incandescent are o strălucire suficientă pentru a provoca „orbirea“ când se află în câmpul vizual. Lămpile de mare strălucire, chiar depărtate, trebuie să aibă filamentul mascat printr-un reflector, un ecran care difuzează lumina etc.

Când strălucirea sursei de lumină devine prea intensă, se produce, în afară de slăbirea considerabilă a facultății vizuale, și o senzație de jenă care merge pînă acolo încît se simte nevoia unei protecții materiale a ochilor. Strălucirile mai mici de 0,75 sb nu produc orbire.

În general, se poate spune că orbirea este un dezechilibru produs în aparatul vizual de excesul de lumină sau de repartiția proastă a fluxului luminos. Intensitatea acestui fenomen este cu atît mai pronunțată cu cît strălucirea sursei luminoase este mai mare și distanța acesteia de ochi este mai mică și cu cît contrastul dintre strălucirea sursei și cea a fondului pe care se află este mai accentuat.

Tulburările datorite fenomenului de orbire momentană se mai pot produce cînd ochiul, fiind adaptat la o anumită iluminare, este supus brusc la o iluminare mai intensă sau mai puțin intensă. Trebuie deci să se evite contrastele prea accentuate dintre diferitele planuri în care trebuie să aibă loc vederea: de exemplu, trebuie evitat să se lumineze numai planul pe care se face citirea sau scrierea, desenul sau un montaj mecanic fin, în timp ce celelalte planuri, celelalte părți ale camerei, se află în umbră. Este de preferat ca și acestea să aibă o iluminare apreciabilă, chiar dacă nu este atît de mare ca aceea a planului pe care se lucrează.

Pentru a evita „orbirea“, trebuie redusă strălucirea surselor luminoase; acestea trebuie așezate departe de ochi și în afara câmpului vizual; să se micșoreze contrastul dintre punctele luminoase și fondul de pe care se desprind, folosindu-se în acest scop pereți și plafoane destul de luminoase, cu strălucire convenabilă.

Mai trebuie folosit iluminatul indirect în locuințe sau la locul de muncă: lămpile trebuie să fie îndreptate cu ajutorul unui reflector sau difuzor, fie asupra plafonului vopsit într-o culoare foarte deschisă, fie să fie fixate în nișe și ascunse ochiului, pentru a proiecta lumina asupra pereților.

C. ACOMODAREA

Imaginea unui punct luminos aflat la infinit se formează pe retină, și astfel punctul poate fi văzut. Pentru a fi foarte clară, această imagine trebuie să se formeze pe retină așa cum se formează pe o placă fotografică într-un aparat fotografic bine pus la punct pentru infinit.

La aparatul fotografic, punerea la punct pentru diferite distanțe ale obiectului de aparat se face prin diferite procedee, variind distanța dintre obiectiv și clișeu din aparat.

La unele animale, aducerea imaginii pe retină, pentru a putea fi văzută, se face în mod analog. Fenomenul, numit acomodare, se desfășoară în modul următor: fără acomodare, animalele de apă, cefalopode, pești etc., văd numai de aproape; pentru distanțe mai mari, cristalinul ochiului lor se apropie de retină. Fig. 340 redă schematic o secțiune mediană prin ochiul unei știuci. Aici cristalinul L este sferic, convergența puternică fiind rezultatul adaptării la vederea în lichid; în adevăr, înaintea corneei nu se află aer (indice de refracție aproximativ 1), ci apă ($n = 1,333$). Cristalinul este suspendat în z , astfel încât prin mușchii ciliari se poate apropia, la acomodare pentru distanță, de retina R ; în acest caz, cristalinul ia poziția arătată punctat în figură, și animalul își vede în apă hrana ca un obiect apropiat.

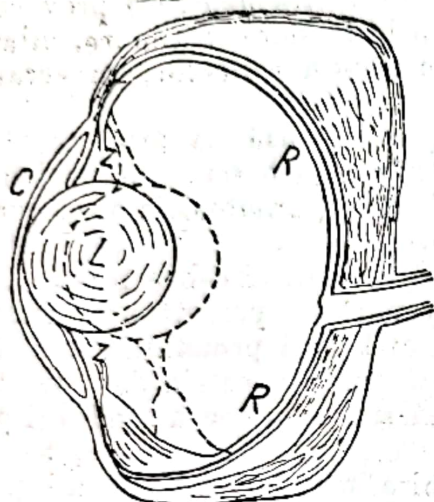


Fig. 340 — Acomodarea la știucă, prin apropierea sau depărtarea cristalinului L de retina R .

Animalele care trăiesc în aer au ochiul în stare de odihnă acomodată pentru distanțe mari, pentru infinit; pentru a putea vedea aproape, șerpii, amfibiile etc. depărtează cristalinul de retina, printr-un proces la care participă modificarea presiunii intraoculare.

La om însă, ca și la cele mai multe vertebrate distanța dintre cristalin și retina este constantă, așa că acomodarea, pentru ca imaginea să se formeze pe retina, nu se poate face prin deplasarea cristalinului.

Obiectele pe care le privim neavând toate aceeași depărtare de ochi, în cazul unui ochi care nu acomodează, nu toate imaginile se formează pe retina; unele se formează înaintea retinei, altele înapoia ei. În aceste din urmă cazuri, imaginea pe retina nu este clară. Ea este formată, fie din secțiunea conului luminos, la nivelul retinei, adică un cerc, fie din secțiunea conului format de prelungirea razelor luminoase, ceea ce la nivelul retinei dă de asemenea un cerc. În ambele cazuri avem deci, în locul unei imagini punctiforme, niște cercuri de difuziune (fig. 341); deci, imaginea nu va fi clară.

Cu toate acestea, la un subiect cu privirea normală, ochiul, după o sforțare care durează foarte puțin, vede pe rând, atât obiectele luminoase apropiate de ochi, cât și cele depărtate, ceea ce dovedește că imaginea acestor obiecte se formează totuși pe retina.

Ochiul omenesc are însușirea de a aduce pe retina, pe altă cale decât cele descrise mai înainte, imaginea obiectelor luminoase privite.

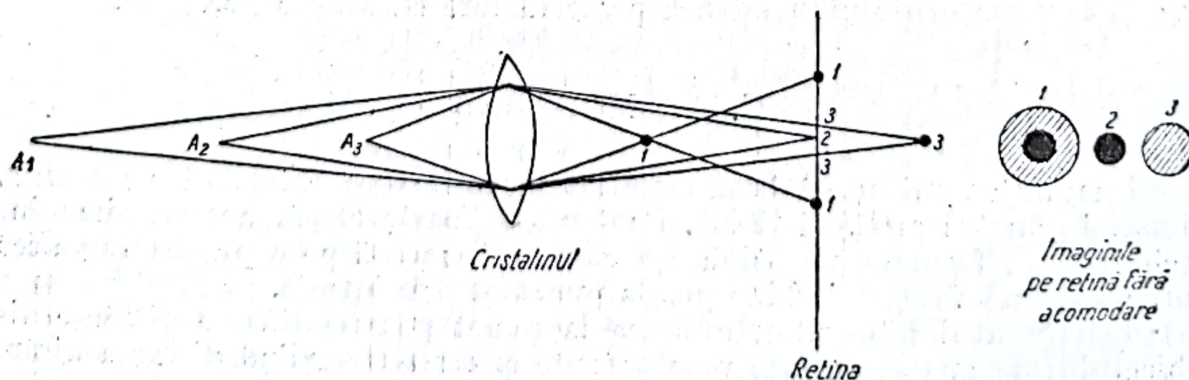


Fig. 341 — Imaginile în ochiul neacomodat.

1. IPOTEZELE ASUPRA ACOMODĂRII

Pentru explicarea acomodării s-au emis trei ipoteze:

a) **Imaginea rămîne acolo unde se formează**, potrivit regulilor de optică geometrică, și atunci vedem punctul A (fig. 341) în pozițiile 1 sau 3 sub forma unor cercuri de difuziune, așa cum s-au format pe retină; vederea clară ar putea fi înlesnită prin diferitele fenomene de corecție ale elementelor ochiului. Experiența arată însă că acesta nu este cazul, fiindcă ochiul vede clar, pe rînd, fiecare din imaginile 1, 2 și 3, ceea ce arată că ele se formează, pe rînd, pe retină.

b) **Cristalinul se apropie de retină** pentru cazul 1 și se depărtează pentru cazul 3, modificînd distanța dintre cristalin și retină, așa cum am văzut că se face acomodarea la pești. La om și la vertebratele superioare, nici cristalinul și nici retina nu sînt deplasabile, și totuși imaginile se formează pe *macula lutea* și sînt văzute.

c) **Sistemul optic al ochiului**, care cuprinde cristalinul — în esență o lentilă biconvexă alcătuită din substanță organică — își modifică curbura, mărindu-și și micșorîndu-și astfel convergența; cristalinul este deci mai puțin convergent pentru cazul 3 și mai convergent pentru cazul 1 decît pentru cazul normal 2; numai astfel pot fi văzute cele trei imagini.

Ipoteza din urmă se consideră cea mai justă, fiindcă este verificată de toate datele experimentale. După această ipoteză, mecanismul acomodării poate fi schematizat astfel: ochiul omenesc normal este acomodat în general pentru infinit, adică mușchii ciliari țin cristalinul într-o stare de tensiune care-l face potrivit pentru vederea la infinit. În acest caz, focarul sistemului optic vizual se află pe retină. Dacă obiectul se apropie, imaginea se formează în fața retinei și devine neclară. Punerea la punct pentru obiecte apropiate se face de către ochi printr-o mărire a convergenței cristalinului care este elastic; mărirea convexității se realizează printr-o relaxare, o micșorare a tensiunii care ține cristalinul în forma cea mai puțin convergentă, adică acomodat pentru infinit. În fig. 342 se arată jumătatea inferioară a cristalinului acomodată pentru infinit; convergența este mai mică din cauza tensiunii în care este ținut de zonula lui Zinn în direcțiile radiale, deci nu se află în poziție de repaus. Prin relaxarea tensiunii musculare, cristalinul își mărește convexitatea, așa cum se vede în jumătatea superioară a figurii; cristalinul ia forma de repaus, care este acomodarea pentru apropiere.

Fig. 342—Mecanismul acomodării la om.

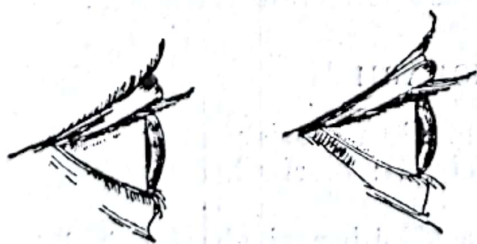


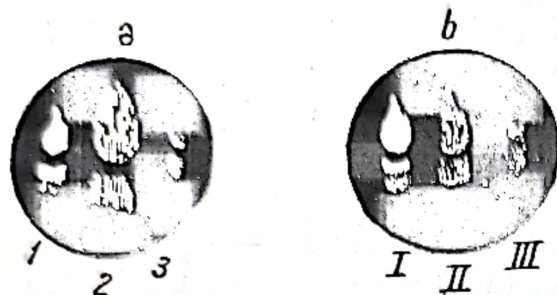
Fig. 343—Ochiul în timpul acomodării.

Păsările care zboară cu viteză foarte mare (100 m/s) și se hrănesc cu insecte pe care le prind din zbor trebuie să acomodeze foarte repede; cristalinul la aceste animale este întins și relaxat de un dispozitiv muscular puternic.

Verificarea acestei ipoteze a modificării curburii cristalinului pentru acomodare se poate face în modul următor. Dacă se examinează un ochi normal din partea laterală și puțin de jos în sus, ochiul are aspectul din fig. 343 stînga,

cînd privește în depărtare. Dacă acomodează, aspectul se modifică și devine cel din fig. 343 dreapta. Orificiul negru al pupilei, ceva mai micșorat, devine vizibil; se vede astfel, direct, dinafară, o îngroșare spre înainte a feței externe a cristalinului.

Experiența clasică a lui Purkinje (1823) verifică acomodarea în ipoteza arătată, în modul următor: dacă ținem în întuneric o luminare în apropierea ochiului unui subiect care privește la infinit, și dacă examinăm cu atenție ochiul, vom vedea trei imagini ale luminării (fig. 344). Una din ele este strălucitoare, mică și dreaptă, și este dată de fața anterioară a corneei, care are rol de oglindă convexă; a doua este mai mare, dar mai puțin strălucitoare, de asemenea dreaptă, puțin mai mare decît imaginea precedentă, și este formată pe fața anterioară a cristalinului, care are și ea rolul de oglindă convexă, dar de curbura mai mică; imaginea a treia a luminării este foarte mică, inversată și foarte strălucitoare; ea este formată pe fața posterioară a cristalinului, care are rol de oglindă concavă.



a — imaginile în ochiul în repaus; 1 — în corneea; 2 — în fața anterioară a cristalinului; 3 — în fața posterioară a cristalinului; b — imaginile în ochiul care acomodează imaginile I, II, III în dioptrii menționați mai înainte.

Fig. 344 — Experiența lui Purkinje.

suferă modificări: imaginile 1 și 3 nu se schimbă prea mult, dar imaginea 2 devine mai mică și mai clară, ceea ce înseamnă că fața anterioară a cristalinului a căpătat o curbura mai mare (raza de curbura a devenit mai mică); cristalinul a devenit mai convergent.

Experiența lui Purkinje demonstrează deci că, în timpul acomodării, corneea păstrează o formă invariabilă, în timp ce fața anterioară a cristalinului își modifică curbura.

Helmholtz a măsurat cu oftalmometrul dimensiunile imaginilor în timpul vederii la distanță și în timpul vederii din apropiere, și a putut determina prin calcul variațiile de curbura ale fețelor cristalinului. El a găsit că la vederea din depărtare, fără acomodare, raza de curbura a feței anterioare a cristalinului este de 10 mm, în timp ce, la vederea din apropiere este numai de 6 mm; fața posterioară își micșorează în acest timp raza de curbura numai cu 0,5 mm, adică trece de la 6 la 5,5 mm. În afară de aceasta, Helmholtz a constatat că fața anterioară a cristalinului înaintează cu 0,5 mm cînd acomodarea este maximă.

Deci, în timpul acomodării, mărirea puterii refringente, care este consecința măririi razei de curbura, permite imaginilor obiectului apropiat să se formeze pe retină, și astfel se pot vedea bine obiectele apropiate.

2. TEORIILE AGOMODĂRII

Pentru a explica mărirea curburii feței anterioare a cristalinului în timpul acomodării au fost emise două teorii principale: teoria lui Helmholtz și cea a lui Tscherning.

a) După Helmholtz, dacă cristalinul ar fi liber și absolut izolat, ar avea forma și convergența pe care o are pentru vederea de aproape, deci îngroșat și bombat înainte. Aceasta ar fi forma sa de echilibru.

Deci, cînd ochiul nu acomodează, adică atunci cînd privește departe cristalinul se deformează prin tracțiunea pe care o exercită asupra fețelor sale fibrele zonulei lui Zinn. În timpul acomodării, din contra, zonula lui Zinn se relaxează, în urma contracției mușchilor ciliari care trag înainte inserția superioară a zonulei. În acest caz, prin propria sa elasticitate, cristalinul ia o formă mai bombată, care-l apropie de poziția sa de echilibru.

Agentul activ al acomodării ar fi deci, după Helmholtz, contracția mușchiului ciliar, această contracție producînd o relaxare a zonulei și o reîntoarcere a cristalinului la forma sa de echilibru.

S-a verificat experimental, în diferite moduri, teoria lui Helmholtz. Excitînd pe cale electrică ganglionul oftalmic, s-au putut constata contracția mușchiului ciliar, mișcarea înainte a coroidei și mărirea grosimii cristalinului.

Numeroase alte experiențe au arătat însă că forma de echilibru a cristalinului nu corespunde de loc forme bombate sau forme acomodate, așa cum arată teoria lui Helmholtz. Astfel, cristalinul eliberat prin paralizarea cu atropină a mușchilor ciliari, ori extras din ochi (deci în echilibru), ia forma vederii de departe.

b) Tscherning, studiînd aberația de sfericitate a dioptrului ocular, constată că, în timpul acomodării, marginile cristalinului se subțiază, pe cînd, după teoria lui Helmholtz, ele ar trebui, dimpotrivă, să se îngroașe. În afară de aceasta, măsurînd la animale superioare curbura cristalinului pe ochiul atropinizat și deci neacomodat, și apoi făcînd aceleași măsurători pe cristalinul eliberat, el obține sensibil aceleași valori. Aceasta arată că în starea de repaus a ochiului, sau de neacomodare, cristalinul nu este deformat.

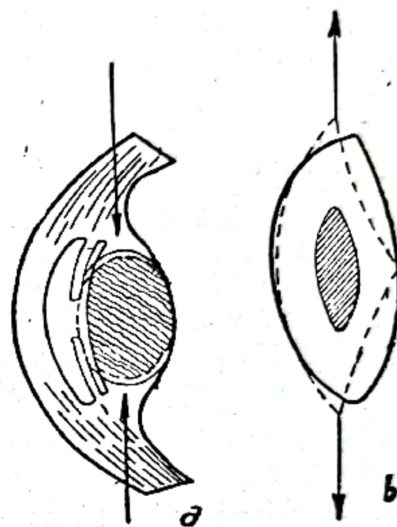
În baza experiențelor făcute, Tscherning formulează teoria următoare: cristalinul este alcătuit dintr-un nucleu aproape sferic și nedeformabil, înconjurat de părți moi. În timpul acomodării, zonula lui Zinn exercită o tracțiune pe fețele cristalinului și deformează regiunile periferice, apropiindu-le de nucleu. Alipindu-se astfel de nucleul dur, convex, porțiunea mediană își mărește curbura, în timp ce regiunile periferice se subțiază (fig. 345).

În același timp, irisul se contractă, pupila se micșorează și oprește intrarea razelor marginale, care ar tulbura claritatea imaginii date de razele centrale.

După această teorie, contracția mușchiului ciliar produce o tracțiune a zonulei lui Zinn, iar nu o relaxare (cum admite Helmholtz) și care deformează cristalinul și-l îndepărtează de forma sa de echilibru.

Ca și teoria lui Helmholtz, teoria lui Tscherning nu explică nici ea complet acomodarea; Tscherning nu arată de ce se îngroașă cristalinul în timpul acomodării. Tracțiunea exercitată pe marginile cristalinului trebuie să producă o mărire de curbura, dar și o subțiere a regiunii mediane.

Razele de curbura ale diferiților dioptri oculari, în stare de neacomodare și de acomodare maximă, sînt redade, după determinări recente, în tabelul 40.



a — după Helmholtz; b — după Tscherning. Linia continuă reprezintă forma cristalinului în repaus; linia punctată arată forma cristalinului în acomodare.

Fig. 345 — Teoriile acomodării.

Dioptrul	Raza de curbură	
	Neacomodare (mm)	Acomodare maximă (mm)
Suprafața anterioară a corneei	7,7	7,7
Suprafața posterioară a corneei	6,8	6,8
Suprafața anterioară a cristalinului	10,0	5,33
Suprafața anterioară a nucleului	7,9	2,6
Suprafața posterioară a nucleului	-5,7	-2,6
Suprafața posterioară a cristalinului	-6,0	-5,3

D. AMETROPIILE

Ochiul normal se numește ochi emetrop: el poate vedea clar obiectele depărtate, fără acomodare. Din punct de vedere fizic, un astfel de ochi în repaus are focarul posterior pe retină.

Unii ochi nu au focarul posterior pe retină, așa că nu văd clar la infinit, fără acomodare. Un astfel de ochi se numește ochi *ametrop*. Anomaliile ochiului din punctul de vedere al refracției se numesc ametropii. Cele mai curente ametropii sînt: miopia, hipermetropia, presbiția, astigmatismul.

1. MIOPIA

La miopi, ochiul adună razele paralele cu axa principală, fără acomodare, înaintea retinei (fig. 346). Miopia este de mai multe categorii, după cauzele cărora i se datorește. Astfel, la unii miopi, axa antero-posterioară a globului ocular este prea lungă și, deși refracția cristalinului este bună, imaginea unui obiect situat la infinit (practic, mai departe de 5 m) nu se formează, fără acomodare, pe retină; în acest caz, miopia se numește axială. Această miopie este cea mai frecvent întâlnită. O altă cauză constă în faptul că cristalinul este prea convergent; în acest caz, deși globul ochiului este normal, imaginea formată prin cristalin cade înaintea retinei. Această miopie se numește de curbură. Pentru un ochi miop, punctul cel mai departe (*punctum remotum*, *PR*), unde se poate afla obiectul pentru ca imaginea lui să se poată forma, fără acomodare, pe retină este mult mai aproape decît la ochiul normal.

Punctul cel mai apropiat (*punctum proximum*, *PP*) pe care-l poate vedea clar un ochi miop se află de asemenea mai aproape decît pentru ochiul normal. Distanța *PR* — *PP*, numită amplitudine de acomodare, este deci la miopi deplasată înspre ochi.

Se cunosc și miopii de indice, în care, din cauze patologice, indicii de refracție ai mediilor refringente ale ochiului sînt diferiți de cei ai ochiului normal.

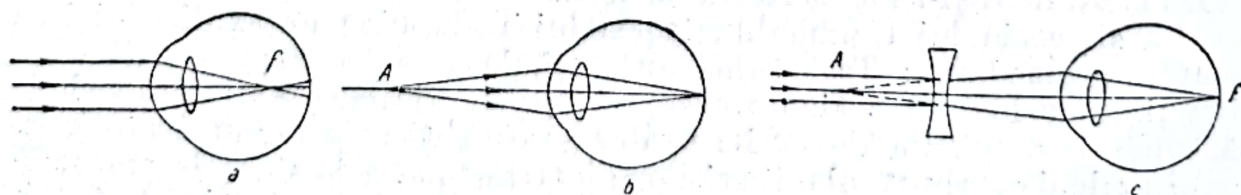


Fig. 346 — Ochiul miop (a): locul obiectului *A* pentru ca imaginea să se formeze pe retină (b); schema corectării (c).

2. HIPERMETROPIA

La ochiul hipermetrop, razele paralele cu axa principală sînt adunate înapoia retinei (fig. 347). Hipermetropia se datorește aceluiași cauze ca și miopia. Astfel, globul ocular este uneori prea scurt, adică axa antero-posterioară a globului este mai scurtă decît la ochiul normal; în acest caz, deși cristalinul este normal și imaginea se formează geometric la locul ei, ea nu întîlnește acolo retina; aceasta fiind mai în față, imaginea se formează înapoia retinei (hipermetropie axială). Uneori globul ocular este normal, dar cristalinul este prea subțire; curbura lui este prea mică și deci convergența lui nu este suficientă pentru a aduce imaginea pe retină; în acest caz, imaginea se formează de asemenea înapoia retinei (hipermetropie

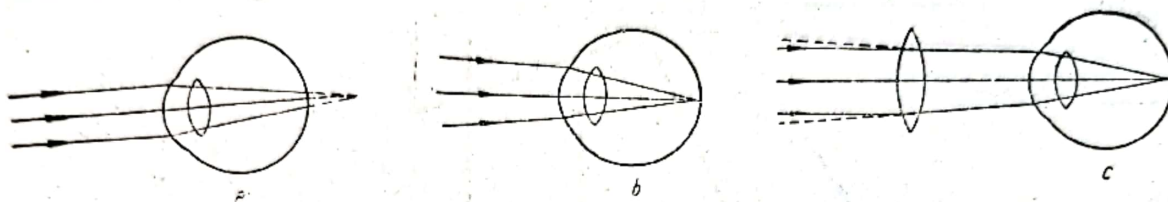


Fig. 347 — Ochiul hipermetrop și cel presbit (a); convergența insuficientă pentru aducerea imaginii pe retină (b); corectarea (c).

de curbură). Pentru ca razele să se adune pe retină, ele trebuie să vină convergent spre ochi; un adevărat *punctum remotum* nu există pentru un ochi hipermetrop; se admite existența unui *PR* virtual, format din prelungirea, înapoia ochiului, a razelor vizuale convergente.

Ca și în cazul miopiilor, se cunosc și hipermetropii de indice, mediile refringente ale ochiului avînd — din cauze patologice — alți indici de refracție decît la ochiul normal.

Se produc uneori și hipermetropii din cauza absenței cristalinului: în acest caz ochiul se numește *afac*.

Pentru ochiul hipermetrop, *punctum proximum* este mai depărtat decît pentru un ochi normal.

3. PRESBIȚIA

Presbiția este o stare fiziologică ce apare, în general, după 40 de ani. O rigidificare a zonei moi a cristalinului împiedică mularea ei pe nucleul cristalinului, așa că ochiul nu mai poate acomoda destul de bine și capătă caracterele optice ale ochiului hipermetrop.

4. ASTIGMATISMUL

În optica fizică, orice dioptru, chiar cel sferic, este astigmat. În optica fiziologică, se consideră ca astigmatism ametropia care se datorește faptului că secțiunile în corneea și cristalin după meridiane diferite nu sînt identice.

Astigmatismul este de două feluri: regulat și neregulat.

Astigmatismul regulat este acea ametropie în care refringența variază progresiv de la un meridian la altul. Acest astigmatism este mai ușor de studiat și de corectat. Astigmatismul neregulat este mai complicat și se corectează de multe ori cu lentile aderente, care se așază lipite pe ochi direct sub pleopă.

Pentru studiu se folosește ca ochi redus un dioptru astigmat regulat, echivalent cu sistemul optic al ochiului astigmat regulat; acest ochi redus se construiește dintr-o suprafață dioptrică în formă geometrică de paraboloid, care nu este de revoluție, adică ale cărei meridiane au în general curburi progresive descrescătoare, de exemplu, de la cel vertical pînă la cel orizontal. Aceste două meridiane se numesc meridiane principale și sînt perpendiculare unul pe altul, chiar dacă uneori nu au poziția verticală și orizontală menționată.

Suprafața dioptrică are, ca și la ochiul redus normal, de partea convexă, aer, iar de partea concavă apă, al

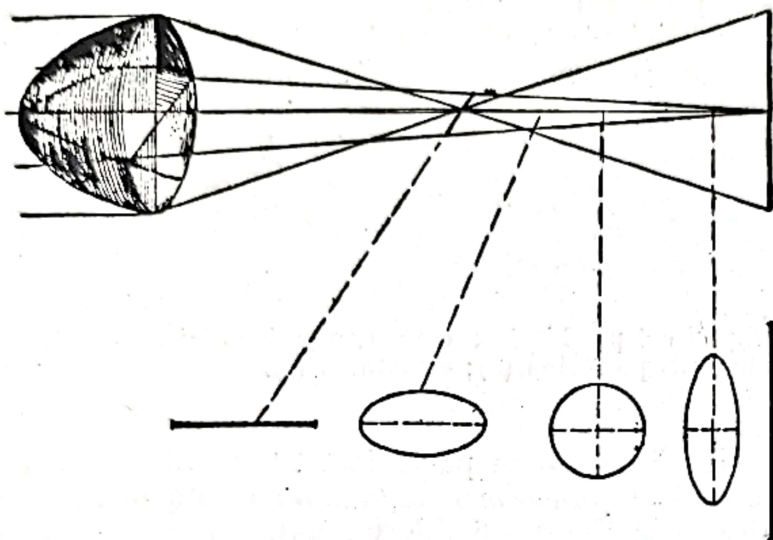


Fig. 348 — Imaginile unui fascicul luminos într-un dioptru astigmat.

cărei indice de refracție am văzut că este aproximativ egal cu indicele total al mediilor refringente ale ochiului.

Să urmărim formarea imaginilor într-un dioptru astigmat. Considerăm un fascicul de raze incidente venit de la infinit și căzînd pe dioptru, paralel cu axa principală; una din raze se află în planul meridian de curbura maximă

care este de exemplu vertical, iar alta se află în planul meridian orizontal, de curbura minimă (fig. 348). Razele din meridianul vertical se refractă și converg în focarul F , care este focarul acestui plan meridian. Razele din planul meridian orizontal converg după refracție în F' care este focarul meridianului orizontal. Focarul F' este mai departe decît focarul F , fiindcă meridianul orizontal este mai puțin curb și deci mai puțin convergent decît meridianul vertical.

Toate razele incidente cuprinse în planele meridiane intermediare se vor încrucișa după dreapta focală orizontală trecînd prin focarul F , și apoi după dreapta focală verticală trecînd prin focarul F' .

Aceste două drepte hh' și vv' sînt dreptele focale ale dioptrului astigmat considerat. Focala orizontală se află în focarul meridianului vertical și focala verticală se află în focarul meridianului orizontal.

Intersectînd cu un ecran normal la axa optică fasciculul de lumină refractat prin dioptru, se obține la nivelul punctului F o linie dreaptă orizontală apoi dreapta se transformă treptat într-o elipsă cu axa mare orizontală, pe măsură ce ecranul se depărtează de F , elipsa devine cerc, apoi cercul se transformă din nou în elipsă, dar de data aceasta cu axa mare verticală, pentru a deveni apoi o dreaptă verticală la nivelul punctului F' (fig. 348 jos).

Într-un dioptru astigmat, imaginea unui punct este deci o dreaptă orizontală și una verticală așezate în plane diferite, așa că este explicabil de ce este imposibil pentru un ochi astigmat să obțină pe retină o imagine clară a unui obiect luminos.

Pentru a concretiza ideile, să considerăm imaginile date într-un sistem dioptric astigmat regulat de cîte o dreaptă paralelă cu fiecare din cele două drepte focale, în cazul considerat mai sus, de două drepte perpendiculare între ele, o verticală și o orizontală. Pentru o demonstrație cinetică să considerăm un punct O (fig. 349) așezat înaintea dioptrului astigmat și să deplasăm pe rînd acest punct paralel cu cele două drepte focale. Cînd punctul O se deplasează după verticale RS , imaginea care rezultă la nivelul focalei orizontale se compune dintr-o serie de mici drepte luminoase orizontale $R_1 S_1$ așezate în formă de coloană. La acest nivel vom avea deci o imagine ștearsă. Dimpotrivă, la nivelul focalei verticale, imaginea va fi o dreaptă luminoasă alcătuită din mici segmente de dreaptă așezată una în continuarea celeilalte, de-a lungul dreptei focale verticale ($R_2 S_2$).

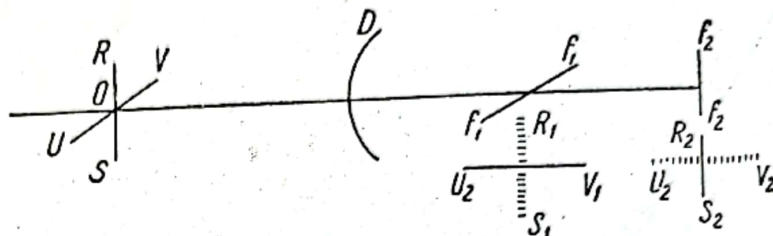


Fig. 349 — Imaginile date într-un dioptru astigmat de dreptele UV și RS , paralele cu dreptele focale.

Punctul O parcurgînd dreapta orizontală UV , fenomenul se produce în sens invers. Vom avea imaginea netă în focala orizontală și o imagine ștearsă, alcătuită din mici segmente verticale alăturate, la nivelul focalei verticale ($U_2 V_2$).

Dacă retina se află în unul din planurile focale, va putea fi văzută clar numai dreapta paralelă la focala care se formează pe retină. Este însă imposibil să avem în același timp imagini nete ale celor două drepte care au direcții diferite.

5. CORECTAREA AMETROPIILOR

Ametropiile se corectează cu ajutorul lentilelor. Principiul corectării este cel al compensării sistemului optic al ochiului ametrop cu ajutorul unei lentile cu care poate forma un sistem centrat care să aducă imaginea pe retină, adică să facă ochiul emetrop.

a) **Măsurarea convergenței lentilelor.** În optica medicală este folosită de obicei, pentru caracterizarea lentilelor corectoare, noțiunea de putere optică sau convergență (uneori vergență). Convergența sau divergența mai mare sau mai mică, pe care o putem obține cu o lentilă, constituie puterea acelei lentile. Puterea lentilelor se caracterizează prin raza de curbura R , prin distanța focală f și prin indicele de refracție n al substanței din care este făcută lentila.

Se numește convergență o mărime invers proporțională cu distanța focală:

$$C = \frac{1}{f}$$

Cu cît o lentilă are distanța focală mai mică și deci raza mai mică, ea este mai convergentă. Pentru lentilele divergente se mențin aceleași măsuri, însă se consideră depărtarea razelor paralele după refracție drept convergență negativă.

Unitatea folosită pentru măsurarea convergenței lentilelor este dioptria. Ea este convergența unei lentile cu distanța focală de 1 m; o lentilă are

4 dioptrii dacă distanța ei focală este de 0,25 m și are 0,5 dioptrii cînd are distanța focală de 2 m. Lentilele divergente poartă semnul minus (—).

Determinarea puterii lentilelor se poate face în mai multe moduri:

— măsurînd pe cale geometrică curbura dioptrului sferic, de exemplu al unei lentile plan-convexe sau plan-concave, cu ajutorul unui dispozitiv sferometric, care dă direct raza de curbură, și deci distanța focală a lentilei, așa că se poate calcula ușor convergența lentilei, care este inversul distanței focale;

— măsurînd distanța focală pe cale optică cu ajutorul unui focometru;

— compensînd convergența lentilei cu o altă lentilă de valoare egală și de semn contrar, astfel ca ambele să poată fi considerate ca formînd o lamă cu fețe paralele. Principiul acestei metode de compensare are la bază teorema convergențelor, care arată că într-un sistem optic centrat, alcătuit dintr-o serie de dioptri cu aceeași axă principală, convergența totală C este egală cu suma convergențelor pozitive sau negative parțiale:

$$C = c_1 + c_2 + c_3 + \dots$$

În baza acestei

teoreme se poate determina puterea unei lentile cu ajutorul alteia de semn contrar și de putere cunoscută.

Pentru examenul necesar corectării ametropiilor se folosesc procedee clinice subiective și obiective. Dintre metodele subiective, cea mai frecvent utilizată este cea a cutiei cu lentile.

b) Cutia cu lentile. Aplicarea metodei de măsurare a puterii lentilelor prin metoda compensației se face cu ajutorul cutiei cu lentile, folosită în laborator și în clinică. Cutia cu lentile cuprinde, în dublu exemplar, serii de lentile convergente și divergente, etalonate de la $\pm 0,25$ la ± 18 dioptrii (fig. 350).

În afară de aceasta, cutia cu lentile mai conține și lentilele cilindrice necesare corectării astigmatismului. Lentilele din cutie sînt grupate după semn și așezate în ordinea puterii lor. Cutia cu lentile servește pentru examenul ametropiilor și pentru determinarea puterii unei lentile oarecare.

Pentru determinarea puterii unei lentile cu ajutorul cutiei cu lentile, se începe prin a se cerceta dacă lentila este convergentă sau divergentă. În acest scop se deplasează în fața ochilor lentila de la stînga spre

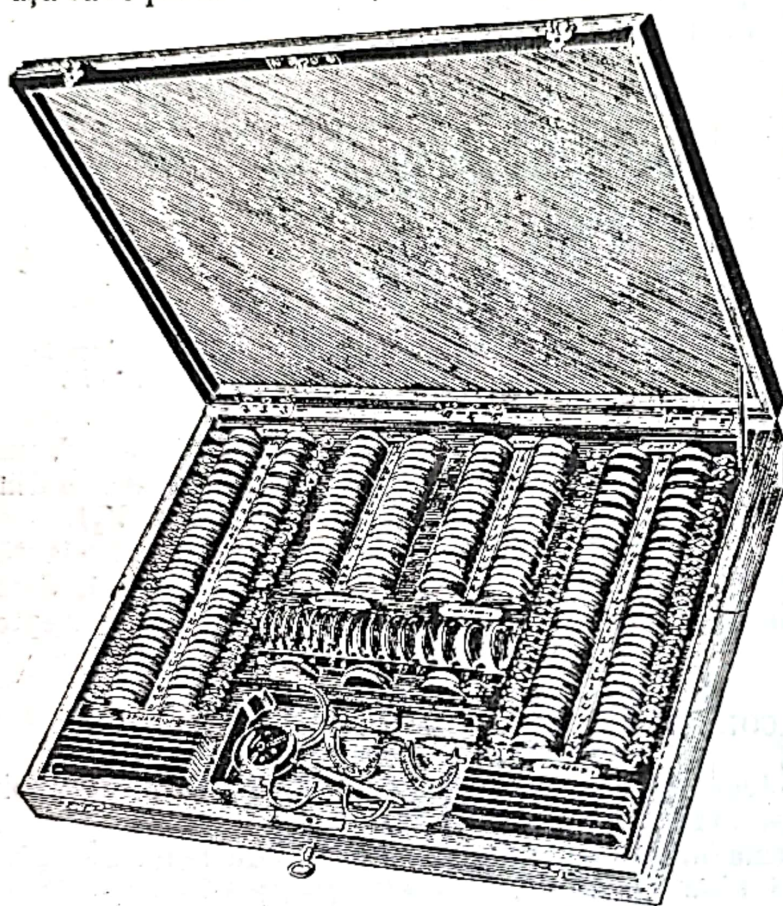


Fig. 350 — Cutia cu lentile.

dreapta sau de jos în sus și se privesc prin ea imagini ale obiectelor mai depărtate.

Dacă aceste imagini se deplasează în același sens cu mișcarea lentilei, aceasta este divergentă; dacă deplasarea imaginii se face în sensul contrar mișcării pe care o imprimăm lentilei, aceasta este convergentă.

O dată stabilit semnul plus sau minus al lentilei, se iau pe rând din cutie lentilele de semn contrar și se suprapun celei examinate. După câteva încercări, se găsește o lentilă din cutie care anulează convergența lentilei examinate, adică dă prin suprapunere, împreună cu lentila examinată, un sistem care are calitățile unei lame cu fețe paralele: deplasând împreună aceste două lentile, de sus în jos, înaintea ochiului, imaginile obiectelor depărtate nu se mai mișcă. În acest moment, lentila din cutie, etalonată în dioptrii, corespunde (cu semn schimbat) lentilei pe care o examinăm.

c) **Corectarea miopiei.** Pentru ochiul miop, care am văzut că este prea convergent, corectarea se face cu o lentilă divergentă (cu putere optică negativă). Ochiul miop văzând fără acomodare numai din *punctum remotum*, care se află mult mai aproape de ochi, lentila corectoare trebuie să transforme fasciculul de raze paralele care vin de la un punct situat la infinit într-un fascicul convergent care pare că vine din *punctum remotum PR*. Aceasta se obține cu o lentilă divergentă care are focarul în acest *PR*; cu alte cuvinte, cu o astfel de lentilă transportăm în *PR* obiectele aflate la infinit.

O lentilă mai puternic negativ, care are deci focarul mai aproape decît în *PR*, ar apropia prea mult imaginea menționată și, pentru a vedea, ochiul miop ar trebui să acomodeze. Aceasta arată că lentila care corectează miopia este lentila divergentă cea mai slabă care permite unui miop să vadă la infinit.

Gradul de miopie al unui ochi se măsoară prin puterea corectoare a lentilei folosite. După cele spuse mai înainte, gradul de miopie se măsoară prin distanța punctului *remotum*, exprimată în dioptrii. Astfel, unei distanțe *PR* de ochi de 0,25 m îi va corespunde o putere de 4 dioptrii, unei distanțe de 0,50 m = 2 dioptrii etc. Aceste valori dau gradul de miopie și, dacă le dăm semnul minus al lentilelor divergente, obținem și puterea lentilei divergente care corectează această miopie.

d) **Corectarea hipermetropiei.** Corectarea hipermetropiei cere, ca și în cazul ochiului miop, o lentilă care să facă ochiul hipermetrop echivalent cu unul emetrop, deci care să vadă la infinit fără acomodare.

Ochiul hipermetrop nu poate privi un obiect la infinit fără să acomodeze. Pentru a-i înlesni vederea la infinit, se înlocuiește acomodarea cu o lentilă de valoarea puterii de acomodare a ochiului hipermetrop. Acomodarea mărind convergența, lentila ce va înlocui acomodarea în hipermetropie va fi o lentilă care mărește convergența ochiului, adică o lentilă convergentă (lentilă pozitivă).

Puterea lentilei corectoare se calculează ținînd seama de faptul că ochiul hipermetrop neacomodat vede obiectele în *PR* virtual, care se află înapoia retinei. Acest punct trebuie să fie focarul principal al lentilei corectoare. Fasciculul de raze paralele care vine de la infinit este transformat de lentilă într-un fascicul conic, care converge în focarul *R*. Sistemul optic al ochiului interceptează acest fascicul, a cărui convergență compensează exact efectul datorit hipermetropiei și converge astfel razele pe retină.

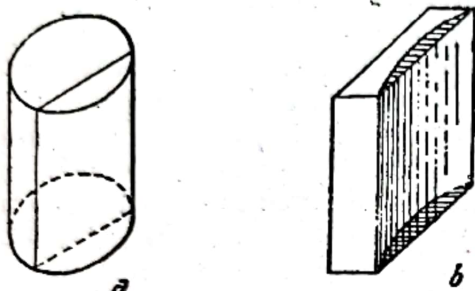
Întrebuînd o lentilă mai puțin convergentă, razele nu converg îndeajuns, așa că, pe lângă lentila corectoare, ar trebui ca ochiul să acomodeze pentru a vedea obiectul așezat la infinit. Dacă lentila corectoare este prea convergentă, imaginea se formează înaintea retinei; se conferă

astfel ochiului o anumită miopie, așa că nici în acest caz nu poate vedea la infinit fără acomodare.

Lentila corectoare a hipermetropiei este lentila convergentă cea mai puternică ce permite vederea clară la infinit.

Gradul de hipermetropie al unui ochi se măsoară prin puterea lentilei corectoare, adică prin puterea celei mai puternice lentile convergente care permite vederea la infinit. Ea este egală în valoare cu distanța PR exprimată în dioptrii.

e) **Corectarea presbiției.** Ochiul presbit se corectează cu lentile convergente, sistemul optic presbit avînd din punct de vedere fizic, aceleași caractere ca și ochiul hipermetrop.



a — convergentă; b — divergentă.
Fig. 351 — Lentile cilindrice.

f) **Corectarea astigmatismului.** Astigmatismul se corectează cu ajutorul lentilelor cilindrice. Lentilele cilindrice convergente au una din fețe plane și cealaltă cilindrică convexă. Lentila cilindrică divergentă are una din fețe plană și cealaltă cilindrică concavă (fig. 351).

Lentila cilindrică nu are un focar punctiform ca lentilele sferice, ci o dreaptă focală. Se poate admite că această dreaptă focală este făcută din punctele focale a numeroase lentile convergente elementare

supraașezate ca o coloană și formînd o lentilă cilindrică.

Puterea lentilelor cilindrice se determină după aceleași principii ca și la lentilele sferice. Orientarea lentilei cilindrice este definită de direcția axei sau generatoarelor cilindrului, și are importanță deosebită în corectarea ametropiei.

Astfel, dacă un subiect este hipermetrop, dar privind un cadran orar, construit în mod special pentru studiul astigmatismului, vede numai în direcția orizontală în mod normal, acest astigmatism poate fi corectat așezînd în fața ochiului respectiv o lentilă cilindrică convergentă, verticală.

La fel, cu o lentilă cilindrică divergentă de ax orizontal se poate corecta ochiul astigmat miop, care vede numai în direcția verticală în mod normal.

O regulă generală pentru corectarea astigmatismului regulat este ca lentila cilindrică corectoare să fie totdeauna orientată astfel ca să aibă axa perpendiculară pe direcția văzută clar pe cadranul orar înainte de corectare.

În general, pentru corectarea unei ametropii se așază subiectul în fața unei scări de acuitate vizuală și, acoperindu-i ochiul care nu urmează să fie examinat, se fixează pe rînd, într-un ochelar special, cu locuri pentru lentile, cîte o lentilă divergentă sau convergentă. După lentila cu care subiectul vede mai bine se stabilește diagnosticul de hipermetropie sau miopie. Se dau apoi lentilele de convergență progresivă pozitivă sau negativă pînă ce subiectul citește bine de aproape sau vede bine de departe. Lentila care dă subiectului facultatea de a vedea normal compensează ametropia și are puterea optică numeric egală și de semn contrar cu aceasta.

E. METODE DE EXAMINARE A RETINEI

1. OFTALMOSCOPUL

Acest aparat, realizat de Helmholtz în 1851, este folosit curent în clinică.

Principiul oftalmoscopului se bazează pe legea a treia a refracției, care arată reciprocitatea razelor refractate sau, cu alte cuvinte, posibilitatea de a se înlocui totdeauna între ele imaginea reală cu obiectul. De aici rezultă că, dacă retina ar fi luminoasă, ar trebui să dea o imagine reală în afara ochiului tocmai în locul în care ochiul acomodează, deci într-un

loc aflat între PP și PR . Pentru a lumina însă artificial retina, care este înconjurată de un strat pigmentat de culoare închisă, este nevoie de mijloace speciale.

În acest scop se așază alături de ochi un izvor puternic de lumină, ale cărui raze sînt reflectate de o oglindă (ținută oblic de examinator) și trimise în ochiul subiectului. În mijlocul acestei oglinzi concave se află un orificiu circular prin care privește observatorul.

Pentru o realizare în condiții bune a examenului trebuie deci ca: a) retina să fie luminată puternic pentru ca ea să devină obiect luminos; b) observatorul și subiectul să se așeze astfel ca vederea imaginii să nu fie stînjinită de izvorul de lumină; c) imaginea retinei să se formeze la o distanță unde observarea să fie ușoară.

Primele două condiții sînt realizate cu oftalmoscopul lui Helmholtz; a treia condiție se realizează întrebuintînd o lentilă care aduce imaginea retinei într-o poziție unde poate să fie examinată.

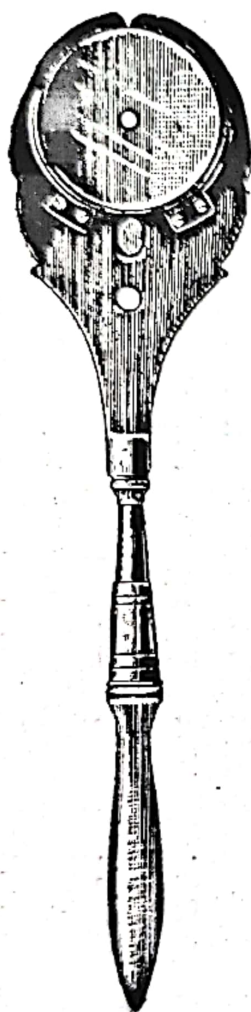
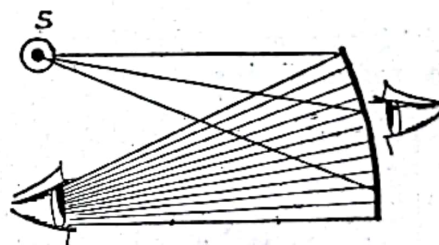


Fig. 352 — Oftalmoscop concav.



S — izvorul luminos; O — ochiul subiectului.

Fig. 353 — Examenul fundului de ochi cu oftalmoscopul.

Oftalmoscopul se compune dintr-o oglindă plană sau concavă. Oglinda plană reflectă asupra ochiului examinat un fascicul divergent, deci nu prea luminos. Oglinda concavă are o distanță focală de aproximativ 20 cm și trimite un fascicul convergent. Oftalmoscopul este perforat la mijloc, avînd un orificiu de 3—4 mm. Se întrebuintează mai mult oglinzile concave (convergente) fiindcă dau o iluminare mai bună (fig. 352).

Folosind oftalmoscopul, se poate lumina cu ușurință fundul ochiului, avînd în același timp posibilitatea de a se observa imaginea. Ochii observatorului se așază înapoia oglinzii oftalmoscopice, în fața ochiului examinat.

Retina examinată este luminată puternic de razele venite de la izvorul S și reflectate de oglindă; observatorul nu este stînjenit, fiindcă nu primește nici una din raze în ochi, deschiderea prin care privește fiind foarte mică (fig. 353).

Oftalmoscopul poate fi utilizat în diferite moduri.

a) se poate obține o imagine reală și răsturnată așezînd o lentilă convergentă D între oftalmoscop și ochiul examinat. Retina puternic iluminată are rolul de obiect luminos față de dioptrul ocular și față de lentila D . Ra-

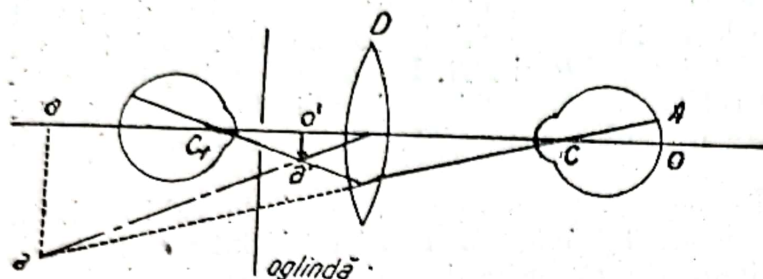


Fig. 354 — Examenul oftalmoscopic cu lentilă convergentă.

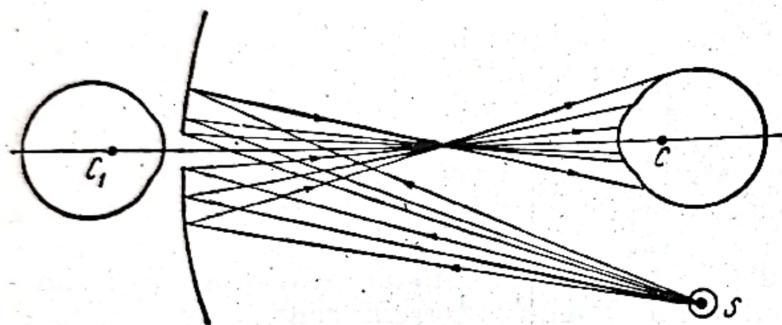


Fig. 355 — Examenul retinei cu imaginea reală și răsturnată (fără lentilă convergentă).

zele trimise de porțiunea AO de pe retină (fig. 354) dau după refracție în dioptrul ocular o imagine reală și inversată ao , aflată înapoia ochiului observatorului. Din lentila D , razele venite de la retina se refractă însă, și dau imaginea $a'o'$, situată între lentilă și oglindă, așa că observatorul o poate vedea: ea este reală și inversată. Folosind o lentilă convergentă de 14 sau 15 dioptrii se vede clar imaginea retinei chiar acomodînd pentru fața retinei îndreptată spre observator.

Cu cît lentila este mai convergentă sau cu cît este mai aproape de ochiul examinat, cu atît imaginea reală și inversată $a'o'$ este mai mică, și deci cu atît este mai mare porțiunea de retină care poate fi examinată.

b) Se poate obține o imagine reală și inversată și fără ajutorul lentilei dacă îndepărtăm ochiul examinat și sursa luminoasă de oglinda oftalmoscopului pînă la 60 cm. În fig. 355 se arată mersul razelor și formarea imaginii răsturnate, în acest caz.

c) Imaginea dreaptă și virtuală a retinei se poate obține dacă în locul unei lentile convergente se interpune între ochi și oftalmoscop o lentilă divergentă. Segmentul AO dă imaginea în modul următor: raza luminoasă AC ia, după refracție în lentila divergentă, direcția săgeții și dă în a' imaginea virtuală a lui A . Se obține astfel $a'o'$, o imagine virtuală și dreaptă a porțiunii AO a retinei (fig. 356).

Pentru a vedea clar această imagine, examinatorul va trebui să se

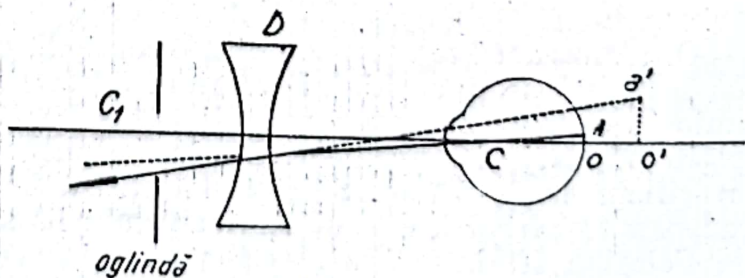


Fig. 356 — Imaginea dreaptă și virtuală a retinei obținută cu o lentilă divergentă D .

apropie cît mai mult posibil de cel examinat pentru a vedea un cîmp suficient, din cauza mării divergențe a razelor. Ca și în cazul imaginii reale, cu cît lentila este mai puternică sau cu cît este mai apropiată de ochiul examinat, cu atît imaginea ao' este mai mică și deci cîmpul de observație este mai extins.

Gullstrand a construit oftalmoscoape care elimină reflexele luminoase ale corneei și ale suprafețelor cristalinului, ceea ce înlesnește mult observarea retinei. Oftalmoscoapele moderne sînt perfecționate și permit efectuarea unei oftalmoscopii directe și ușoare. Cu aceste aparate se poate face un examen binocular al fundului de ochi, care poate fi văzut astfel în relief.

2. FOTOGRAFIEREA RETINEI

Primele fotografii ale retinei au fost obținute încă de Rosenbrugh în 1864. Dimer, în 1906, a reușit să obțină fotografii perfecte ale retinei *in vivo*. Schema dispozitivului (fig. 357) cuprinde un izvor luminos puternic, o lampă cu arc de obicei, a cărei imagine reală se formează prin lentila L în fanta b . De la această imagine foarte luminoasă, razele trec prin lentila D pe oglinda n , astfel încît ia naștere în S_1 în ochi, o imagine reală a lămpii, care luminează întreg fundul ochiului.

O porțiune A a retinei, astfel luminată, trimite raze prin lentila C , dînd o imagine reală în A_1 , iar lentila B dă o imagine reală după această din urmă imagine A_1 pe clișeul fotografic, în A_2 . Diafragma care cuprinde fanta b este acoperită la început cu o sticlă cenușie pentru a nu irita retina. Aceasta permite punerea la punct a aparatului pînă în momentul fotografierii, cînd se produce arcul electric puternic și concomitent se înlătură sticla cenușie, pentru a face loc fantei libere, prin care trece lumina spre ochi.

S-au adus numeroase perfecționări metodei de fotografiere a retinei, așa că în prezent se obțin fotografii foarte bune ale fundului de ochi; aplicarea metodei cere însă exercițiu deosebit de atent și o manipulare îndemnică pentru a nu produce tulburări subiectului.

*

În încheierea capitolului de Optică fiziologică trebuie să accentuăm faptul că teoria fizică a vederii a preocupat mult și preocupă și în prezent pe fizicieni, fiziologi și medici. Numeroasele ipoteze și cercetări făcute în instituțiile științifice din diferite țări arată interesul și atenția ce se dă lămuririi bazelor fizice ale vederii. Trebuie să arătăm că fizicienii S.I. Vavilov și S.O. Maizel din Moscova au lucrat ani îndelungați la elaborarea unei teorii fizice a vederii.

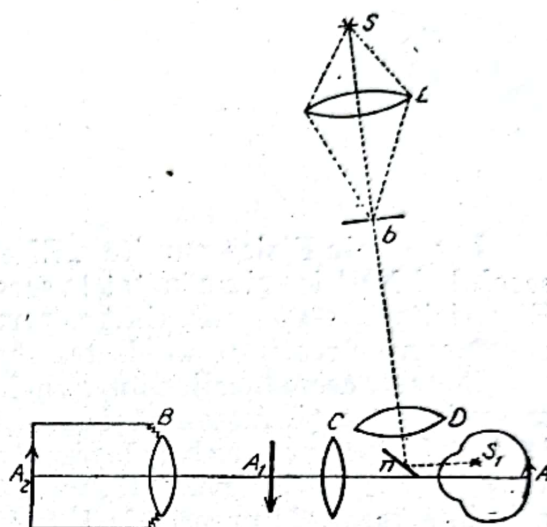


Fig. 357 — Dispozitiv pentru fotografierea retinei.

ELECTRICITATEA

Partea din Fizică numită „Electricitate” s-a dezvoltat cu începere din secolul al XVI-lea și a căpătat în secolul nostru o extindere deosebit de mare. Electricitatea s-a autonomizat ca ramură a științei fizice mai ales în urma marilor progrese realizate în electrotehnică.

Cu toate asemănările dintre unele fenomene electrice și anumite fenomene mecanice (atracția mecanică și atracția electrostatică, de exemplu), fenomenele electrice nu se pot reduce la simple procese mecanice. În același timp, s-a vădit legătura dialectică dintre electricitate și diferitele fenomene fizice, prin integrarea ei în procesele de transformare a energiei: transformarea electricității în căldură, în lumină, în energie mecanică etc. și transformarea în energie electrică a energiei chimice, luminoase, mecanice etc.

În cele ce urmează, „Electricitatea” va fi tratată printr-o expunere succintă și recapitulativă a elementelor principale, în ordinea dezvoltării științei despre electricitate și printr-o descriere a aplicațiilor în biologie și medicină a diferitelor fenomene legate de starea electrică, a principiilor și metodelor de cercetare, diagnostic și tratament medical cu ajutorul electricității.

Studiul proceselor fizice care se desfășoară în țesuturile vii a făcut necesară dezvoltarea unor metode foarte sensibile de cercetare a fenomenelor electrice care au loc în organismul nostru. Astfel, în țesuturi se pot percepe curenți electrici cu o tensiune de 0,0001 V și cu o durată de 0,0001 s. Au fost descoperiți și studiați curenți electrici foarte slabi, legați de activitatea creierului omenesc, a retinei, curenți produși de activitatea unor organe specializate ale diferitelor animale, plante etc.

Pe de altă parte, datorită electricității au fost posibile marile descoperiri ale epocii noastre: iluminatul electric, transportul electric, radiocomunicațiile și, în ultimele decenii, pătrunderea în nucleul atomic și dezagregarea acestuia.

De la cercetarea funcționării organismului uman și tratarea diferitelor boli cu ajutorul electricității și până la aplicarea în cercetare, diagnostic și terapeutică a izotopilor radioactivi, toate acestea au fost cu puțință datorită energiei electrice.

Studiul metodelor de diagnostic și tratament electric este cunoscut și sub numele de *electrologie medicală*.

Pentru a ușura însușirea cunoștințelor, studiul electricității se face în ordinea închețării diferitelor capitole, în dezvoltarea lor istorică. Pentru aceste motive studiul electricității începe și în această carte cu electricitatea statică.

I. ELECTRICITATEA STATICĂ

Capitolul care studiază starea de electrizare și acțiunile reciproce ale corpurilor electrizate se numește *electricitate statică* sau *electrostatică*.

A. NOȚIUNI FUNDAMENTALE

Electrizarea este de două feluri: cea analogă electricității cu care se încarcă sticla frecată cu o piele, și care se numește *electrizare pozitivă*, și cea care este asemănătoare cu a rășinii frecate cu o stofă, și care se numește *electrizare negativă*. Corpurile electrizate la fel se resping, iar cele de fel contrar se atrag.

1. SARCINI ELECTRICE

Un corp electrizat are o sarcină electrică; aceasta servește drept măsură pentru starea lui de electrizare. Sarcinile de sens contrar se compensează; astfel, dacă se electrizează negativ un corp care este electrizat pozitiv, se constată că mai întâi se micșorează starea de electrizare pozitivă până ce dispare complet, și numai după aceasta corpul începe să se electrizeze negativ. Observarea acestor fapte a permis formularea ipotezei că în corpurile neelectrizate există totdeauna, în cantități egale, sarcini de semn contrar, ale căror acțiuni se compensează.

Electrizînd prin frecare un baston de sticlă cu o bucată de piele, în timp ce sticla se încarcă pozitiv, adică rămîne cu un plus de sarcini pozitive, pielea se încarcă negativ, adică primește un plus de sarcini negative.

Faptul că sarcinile electrice nu se creează, și nici nu se pierd, ci se transmit de la un corp la altul, constituie o lege verificată de numeroase fapte și cunoscută sub numele de legea conservării sarcinii electrice.

a) Legea conservării sarcinii electrice stă la baza științei despre electricitate.

Diferitele stări de electrizare se determină calitativ cu ajutorul *electroscopului* (fig. 358) cu foite de aur, de argint sau de aluminiu; pentru determinarea cantitativă, electroscopul este prevăzut cu o scară gradată și se numește *electrometru* (fig. 359).

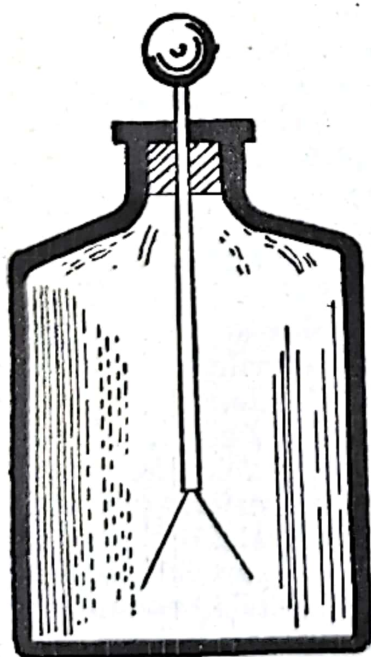


Fig. 358 — Electroscop cu foite de aur.

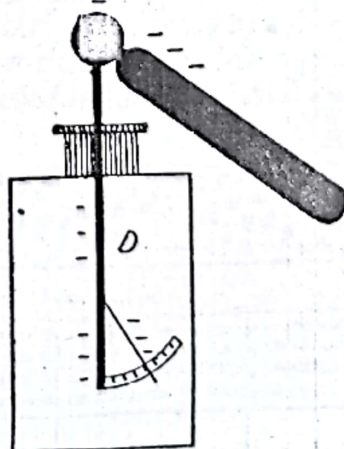


Fig. 359 — Electrometru.

Transmițând prin contact vergelei D o sarcină electrică, atât vergeaua, cât și foita se încarcă la fel și se resping. Mărimea devierii foitei metalice față de vergeaua fixă depinde de gradul de electrizare și se măsoară pe scara gradată, după unghiul făcut de foită.

b) **Electronul.** La finele secolului al XIX-lea s-a stabilit existența sarcinilor elementare negative și li s-a dat numele de electroni (negatoni). Electronul are diametrul de ordinul 10^{-13} cm și masa lui este egală cu aproximativ $1/1840$ din masa atomului de hidrogen, care este cel mai ușor atom. Sarcina electronului este cea mai mică cantitate de electricitate care poate exista izolat. Ea se reprezintă prin simbolul $-e$. Electronii intră în constituția tuturor atomilor.

Aproape întreaga masă a atomului este concentrată în nucleu, care este partea centrală a atomului și are sarcină pozitivă. Sarcina pozitivă a nucleului este dată de protoni, care în fiecare atom sînt în număr egal cu electronii, echilibrînd astfel sarcina acestora și dînd atomului caracterul electric neutru.

Se cunosc și *electroni pozitivi* (pozitroni sau pozitoni) care nu se găsesc în stare liberă decît în condiții excepționale, durata lor fiind de ordinul zecimilor de milionime de secundă.

2. CONDUCTORI, SEMICONDUCTORI, DIELECTRICI

Corpurile care conduc bine electricitatea sînt de două categorii: metalele și electrolitele.

a) **Metalele** sînt conductori de categoria întâi. În metale, deplasarea sarcinilor electrice nu este legată de vreo schimbare a proprietăților chimice ale substanței și de un transport sensibil de materie. În metale, unii electroni se pot deplasa liberi printre atomi, sarcinile electrice ale acestor electroni liberi fiind compensate de sarcinile pozitive care sînt legate de scheletul rețelei cristaline a metalului. Adăugarea de electroni dinafară înseamnă electrizarea negativă; plecarea unei părți din electroni constituie electrizarea pozitivă.

Pe de altă parte, masa electronilor fiind foarte mică, deplasarea electronilor nu aduce practic nici o schimbare în masa conductorului.

b) **Electrolitele** sînt conductori de categoria a doua. Deplasarea sarcinilor în acești conductori este legată de schimbări de natură chimică și duce la depunerea unor porțiuni din substanța electrolitului la electrozi. În electrolite nu există electroni liberi; acești conductori cuprind atomi și grupe de atomi, care poartă sarcini electrice și care se numesc ioni. Transportul de sarcină electrică în conductorii de categoria a doua este condiționat de deplasarea ionilor; aceasta explică transformările chimice din conductorii electroliti.

c) **Dielectricii** sînt substanțe rău conducătoare de electricitate (electro-

izolante); din această categorie fac parte uleiurile, rășinile naturale și artificiale, sticla, porțelanul, cauciucul, aerul, cristalele etc. În moleculele dielectricilor există sarcini pozitive și negative în cantități egale, dar care nu se pot deplasa liber. Sub acțiunea cîmpului electric, sarcinile se deplasează foarte puțin în dielectric sau își schimbă orientarea.

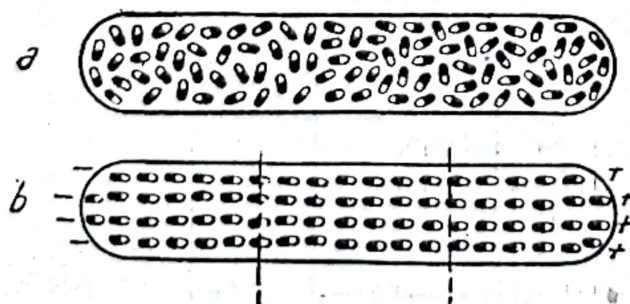


Fig. 360 — Dielectric nepolarizat (a) și polarizat (b).

Moleculele polare așezate dezordonat dau dielectricului caracterul neutru; dacă se apropie însă de un dielectric un corp încărcat, sarcinile electrice, fără a se deplasa, se orientează în direcțiile opuse sarcinii străine, așa că la extremitatea dielectricului îndreptată spre corpul străin încărcat, de exemplu, pozitiv, apar sarcini negative, iar la extremitatea opusă, sarcini pozitive. Se produce astfel o polarizare a dielectricului (fig. 360).

d) **Semiconductori.** Există o categorie de substanțe numite semiconductori din cauză că au conductibilitatea electrică foarte mică, însă destul de mare pentru a putea fi observată. Semiconductorii au o serie de proprietăți caracteristice, care determină clasificarea lor într-o grupă separată.

În biologie și medicină se întâlnesc numeroși semiconductori și se ține seama de această însușire a lor, după cum se va vedea mai departe.

3. LEGEA LUI COULOMB

Acțiunea reciprocă pe care sarcinile electrice o exercită una asupra alteia se conduce după în *legea lui Coulomb*.

Legea descoperită și formulată de Coulomb pe baza numeroaselor măsurări făcute cu ajutorul unei balanțe de torsiune, în 1785, este legea de bază a electrostaticii.

Legea acțiunii care se exercită între două sarcini punctiforme se formulează astfel: forța care se exercită între două sarcini punctiforme este proporțională cu produsul valorilor sarcinilor q_1 și q_2 și invers proporțională cu pătratul distanței d dintre aceste sarcini:

$$f = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \quad (1)$$

Legea lui Coulomb cuprinde și definiția unității de sarcină electrică. În adevăr, dând coeficientului de proporționalitate k în sistemul CGS valoarea $k = 1$ pentru vid, expresia (1) devine

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2},$$

ceea ce înseamnă că unitatea de sarcină în sistemul CGS electrostatic este sarcina punctiformă care acționează asupra unei sarcini egale, situată în vid la o distanță de 1 cm, cu o forță egală cu 1 dină. Această valoare se numește *unitate absolută electrostatică de sarcină electrică*.

Unitățile CGS stabilite pe baza legilor electrostatice se numesc *unități electrostatice absolute* și se notează prin simbolul *CGSes*.

Unitatea electrostatică de sarcină electrică fiind foarte mică, se folosește ca unitate practică o sarcină de $3 \cdot 10^9$ ori mai mare și care se numește *coulomb(C)*.

4. CÎMPUL ELECTROSTATIC

În jurul unui corp încărcat electric, spațiul în care se constată acțiunea forțelor electrice se numește *cîmp electric*. Acest spațiu în care se găsesc sarcinile electrice are anumite proprietăți fizice, care se manifestă prin faptul că asupra altor sarcini introduse în cîmp acționează forțe. În studiul sarcinilor în stare de repaus, numim acest spațiu *cîmp electrostatic*.

Cîmpul electrostatic este o formă specială de existență a materiei. El transmite acțiunea unor corpuri electrizate asupra altor corpuri.

La început, după descoperirea legii atracției electrostatice de către Coulomb, descrierea proprietăților câmpului electrostatic se baza pe teoria matematică a câmpului de atracție gravitațională; se admitea că, atât forțele electrice, cât și forțele de atracție universală se propagă instantaneu, fără ca spațiul intermediar să aibă vreun rol în această acțiune la distanță. De la această concepție, evident idealistă, s-a trecut în secolul trecut la concepția enunțată de M. Faraday (1791—1867), care a observat pentru prima oară realitatea câmpului electric. Dezvoltarea cunoștințelor despre fenomenele electrice a arătat că între sarcinile care acționează între ele, există câmpul

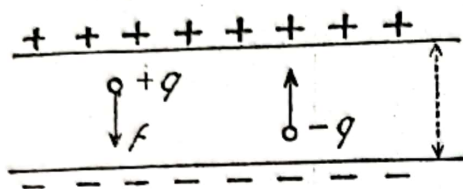


Fig. 361—Câmp electric uniform.

electric, ale cărui proprietăți obiective se determină prin mărimi cum sînt intensitatea E a câmpului și potențialul V .

Teoria mecanică formulată de urmașii lui Faraday pentru explicarea fenomenelor electrostatice, asimilînd liniile de forță cu tensiuni mecanice într-un mediu elastic, cerea conceperea existenței unui mediu elas-

tic universal, „eterul universal“, admis de ipoteza ondulatorie a luminii.

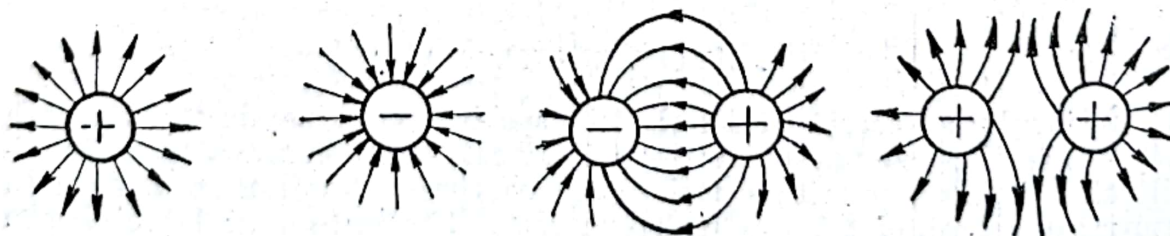
Numeroasele descoperiri făcute în domeniul electricității pînă la sfîrșitul secolului trecut au arătat că fenomenele electrice nu se pot reduce — așa cum am spus — la fenomene pur mecanice, iar pe de altă parte, însușirile pe care trebuie să le aibă „eterul universal“ arată că față de acest mediu nu se poate determina mișcarea; toate acestea au făcut ca astăzi să se admită câmpul electric ca un aspect special al materiei. Acest câmp are proprietăți care diferă de cele ale mediilor mecanice cunoscute, și este caracterizat și prin însușirea de a nu putea servi drept mediu de referință, așa cum în ipotezele vechi se admite că poate servi eterul universal.

Intensitatea E a câmpului electric într-un punct dat se definește prin forța f care se exercită asupra unității de sarcină electrică pozitivă așezată în acel punct. Se poate exemplifica cu două discuri paralele, încărcate cu electricitate de semn contrar (fig. 361). Câmpul dintre cele două discuri este uniform, adică este invariabil în direcție și intensitate.

Liniile de forță ale unui câmp electric sînt redată în fig. 362.

5. POTENȚIALUL ELECTRIC

O sarcină se deplasează într-un câmp electrostatic datorită unor forțe aplicate acestei sarcini. Lucrul mecanic efectuat de aceste forțe pentru deplasarea sarcinii nu depinde de forma drumului pe care s-a deplasat sarcina, ci numai de valoarea sarcinii și de poziția ei inițială și finală. Se poate caracteriza fiecare punct al câmpului cu ajutorul unei funcții speciale care se numește potențialul punctului respectiv din câmp, lucrul mecanic pentru deplasarea



a — sarcina pozitivă; b — sarcina negativă; c — două sarcini de semn contrar; d — două sarcini de același semn.

Fig. 362 — Liniile de forță ale unui câmp electric.

sarcinii pozitive-unitate de la un punct la altul fiind exprimat prin diferența valorilor pe care le au potențialele acestor două puncte.

În sistemul CGS se ia ca unitate de măsură pentru potențialele electrice diferența de potențial dintre două puncte, astfel aleasă încît, dacă deplasăm între ele unitatea de sarcină electrică, se efectuează un lucru mecanic de un erg. În sistemul practic se ia ca unitate de diferență de potențial o mărime de 300 de ori mai mică, și care se numește volt (V).

Din cele expuse pînă acum rezultă că prin deplasarea sarcinii electrice de 1 coulomb între două puncte, între care există o diferență de potențial de 1 volt, se efectuează un lucru mecanic de 1 joule. Vom avea deci:

$$1V = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}} = \frac{10^7 \text{ ergi}}{3 \cdot 10^9 \text{ u.e.s.}} = \frac{1}{300} \text{ u.e.s.}$$

6. CAPACITATEA ELECTRICĂ

Experiența arată că diferiți conductori încărcăți cu aceeași cantitate de electricitate au potențiale diferite; ei diferă între ei printr-o proprietate fizică ce se numește capacitate electrică sau, mai scurt, capacitate.

Capacitatea unui conductor depinzînd și de așezarea corpurilor din jur, vom considera mai întîi un conductor izolat. Sarcina sa Q fiind proporțională cu potențialul V (deoarece la mărirea sarcinii se mărește și intensitatea cîmpului, cum și lucrul mecanic pentru deplasarea sarcinii de la conductor la infinit) avem:

$$Q = CV$$

unde coeficientul de proporționalitate C depinde de forma și mărirea conductorului; acest coeficient se numește *capacitatea conductorului* și are valoarea

$$C = \frac{Q}{V}. \quad (1)$$

a) **Unități.** Ca unitate de capacitate se ia capacitatea unui conductor izolat al cărui potențial se modifică cu o unitate cînd i se comunică o sarcină egală cu unitatea. Potențialul unei sarcini punctiforme fiind

$$V = \frac{Q}{R}, \quad (2)$$

unde R este raza sferei, vom avea din comparația cu expresia (1) de mai sus

$$C = R; \quad (3)$$

capacitatea sferei este deci numeric egală cu raza ei. În sistemul CGS se ia ca unitate capacitatea unei sfere conductoare izolate, cu raza de 1 cm.

Unitatea tehnică de capacitate este faradul, care este capacitatea unui conductor astfel construit încît mărirea sarcinii cu 1 coulomb duce la mărirea potențialului cu 1 volt.

Deci

$$\begin{aligned} 1 \text{ farad} &= \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}} = \frac{3 \cdot 10^9 \text{ unități de sarcină CGS}}{1/300 \text{ unități de potențial CGS}} = \\ &= 9 \cdot 10^{11} \text{ unități de capacitate CGS.} \end{aligned}$$

De aici rezultă că faradul este capacitatea unei sfere izolate cu raza de 9 milioane km, deci de 1 400 ori mai mare ca raza pământului. Din această cauză este utilizată în practică unitatea submultiplă numită microfarad, egală cu o milionime (10^{-6} F) de farad. Microfaradul μ F este capacitatea unei sfere izolate avînd raza de 9 km. De multe ori se folosește un alt submultiplu, și anume milimicrofaradul ($m \mu$ F = 10^{-9} F), numit și nanofarad (nF), de o mie de ori mai mic decît microfaradul, precum și picofaradul (1 pF = 10^{-12} F), care este a mia parte dintr-un nanofarad.

Capacitatea unui conductor depinde, după cum arată experiența, de corpurile care-l înconjură. În practică se utilizează un sistem de conductori a căror capacitate nu depinde de corpurile din jur; un astfel de sistem îl alcătuiesc condensatorii.

b) Condensatorii sînt de mai multe feluri, după construcția lor.

Condensatorul plan este compus din două plăci paralele, *A* și *B*, așezate la o distanță *d* între ele, astfel ca *d* să fie mic față de dimensiunile plăcilor. Între plăci se consideră că este vid; în practică se află aer, diferența în valoare dielectrică nefiind prea mare.

Capacitatea condensatorului plan este direct proporțională cu suprafața *S* a plăcilor și invers proporțională cu distanța *d* dintre ele.

Cu cît plăcile sînt mai apropiate una de alta, cu atît capacitatea condensatorului format de ele este mai mare.

Capacitatea condensatorului se mai poate modifica dacă umplem spațiul *d* dintre plăci cu o altă substanță dielectrică.

Forțele care acționează între corpurile încărcate electric și cufundate într-un dielectric nu pot fi determinate numai din acțiunea reciprocă dintre sarcini. Prin umplerea spațiului dintre plăcile condensatorului cu un dielectric omogen, experiența arată că forța de interacțiune dintre plăci scade de ϵ ori. Deci, două sarcini punctiforme q_1 și q_2 , așezate la o distanță *d* una de alta și avînd între ele un dielectric omogen, acționează reciproc una asupra alteia cu forța dată de expresia:

$$f = \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon d^2},$$

unde ϵ este constanta dielectrică a substanței izolante (numită și permittivitate, conform STAS).

Această formulă exprimă legea lui Coulomb pentru sarcini aflate într-un dielectric omogen.

În general, doi conductori separați printr-un dielectric constituie un condensator; cei doi conductori se numesc armăturile sau electrozii condensatorului.

Cel mai simplu condensator electric constă din două plăci metalice despărțite printr-un strat de aer care servește ca dielectric. De cele mai multe ori, condensatorii au armăturile despărțite printr-un dielectric solid. Grosimea dielectricului nu poate fi prea mică, fiindcă la o anumită diferență de potențial se produce între armături o descărcare sub formă de scînteie, ceea ce arată că dielectricul a fost străpuns. Dacă în loc de aer se ia alt dielectric, capacitatea condensatorului crește, constanta dielectrică a fiecărui din materialele folosite fiind alta și mai mare decît cea a aerului. Capacitatea condensatorului plan este dată de expresia

$$C = \frac{\epsilon S}{4 \pi d},$$

în sistemul CGSes.

Dacă se ia constanta dielectrică a aerului egală cu 1 (deși e ceva mai mare decât a vidului), atunci hîrtia de condensator are constanta 3,5; ebonita între 2 și 4; mica între 5 și 8; sticla între 5 și 10; aceste variații pentru același material sînt în funcție de calitatea diferită a lui.

Rezistența opusă de dielectric la străpungere se numește *rigiditate dielectrică* și se măsoară prin diferența de potențial în kV care poate străpunge un strat izolator de un milimetru grosime. Rigiditatea dielectrică a aerului

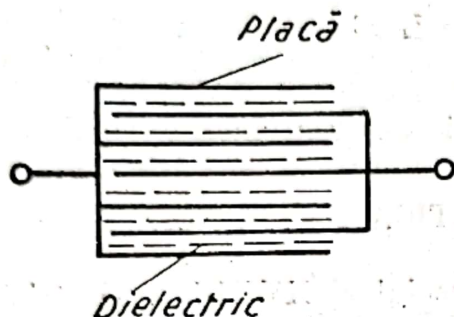


Fig. 363 — Condensator fix cu două serii de plăci, separate prin dielectric.

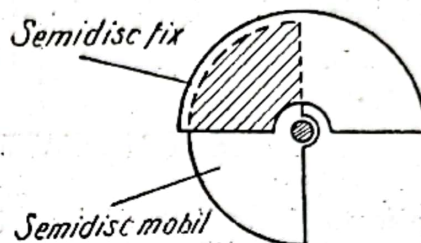


Fig. 364 — Condensator cu capacitatea variabilă (schemă).

este 4, a sticlei între 8 și 30, a hîrtiei parafinate între 40 și 50, a ebonitei 50 etc.

Condensatori *fixi* sînt cei cărora nu li se poate varia capacitatea. Cei mai răspîndiți condensatori cu capacitate fixă sînt formați din foi metalice subțiri (de staniol sau de aluminiu) avînd între ele foi de hîrtie parafinată sau foițe de mică. Pentru a avea o suprafață mare se iau de obicei mai multe foi metalice subțiri și se unesc în două grupe, care se întrepătrund; ele sînt separate prin dielectric (fig. 363).

Uneori se iau două plăci lungi de aluminiu sau de staniol, se așază între ele și în afara lor cîte o foaie de hîrtie parafinată și apoi se înfășoară în formă de sul compact. Se introduce sulul într-o cutie metalică și se toarnă în ea parafină topită.

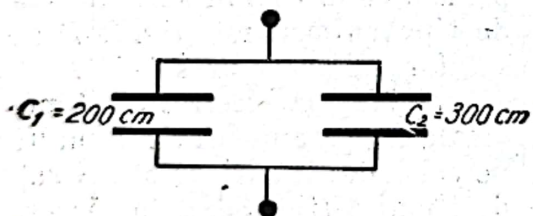


Fig. 365 — Legarea condensatorilor în paralel (schemă).

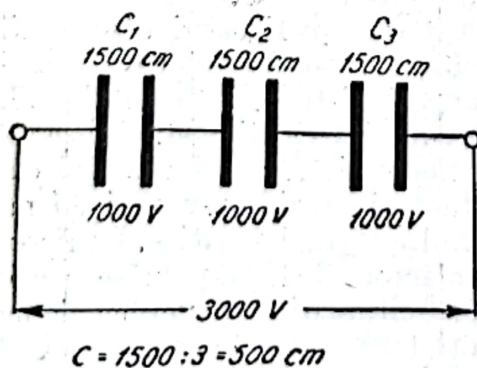


Fig. 366 — Trei condensatori legați în serie (schemă).

Condensatorii a căror capacitate poate varia se numesc *condensatori variabili*.

Condensatorul variabil are mai multe semidiscuri de aluminiu legate între ele; unele sînt fixe, iar între ele pot circula altele ce se rotesc, fiind fixate pe un ax. Rotînd axul și schimbînd în modul acesta poziția reciprocă a semidiscurilor fixe și mobile, putem varia suprafețele conductorilor care se află față în față, și deci și capacitatea condensatorului (fig. 364).

Condensatorii se leagă mai mulți între ei. Pentru a obține o capacitate mai mare se leagă condensatorii în suprafață sau în paralel, adică armăturile de același semn se leagă între ele (fig. 365). În acest caz, capacitatea

totală a bateriei de condensatori este egală cu suma capacităților condensatorilor legați. Condensatorii fieși plani sînt legați în suprafață.

Dacă se leagă în serie (fig. 366), de exemplu trei condensatori de cîte 1 500 cm, capacitatea bateriei de condensatori realizată astfel este 500 cm, adică devine de trei ori mai mică, dar suportă o tensiune de trei ori mai mare.

Condensatorii sînt folosiți în electrostatica medicală, în radiologie, în radiotehnică, în aparatele de diatermie, de unde ultrascurte, în aparatele de produs ultrasunete etc.

Un condensator clasic este butelia de Leyda, care este un condensator cilindric; dielectricul este în acest caz flaconul sau paharul de sticlă care separă cele două armături, cea interioară de cea exterioară. Mașinile electrostatice au uneori condensatori cilindrici sau tronconici de tipul buteliei de Leyda.

B. ELECTRICITATEA STATICĂ ÎN MEDICINĂ

Aplicată de unii medici încă din secolul al XVIII-lea, electricitatea statică a fost folosită mult în terapeutică la sfîrșitul veacului trecut și începutul celui actual. În prezent, aparatele electrostatice și-au pierdut din însemnătate, fiind în bună parte înlocuite cu aparatele de înaltă frecvență, care permit aplicațiile electricității statice cu mijloace mai simple. În clinicile și instituțiile unde mai există și funcționează mașina electrostatică, se fac aplicații și azi; ele dau unele rezultate bune, despre care va fi vorba mai departe.

1. MAȘINA ELECTROSTATICĂ MEDICALĂ

Vechile mașini electrostatice, care produc electricitate prin frecare,

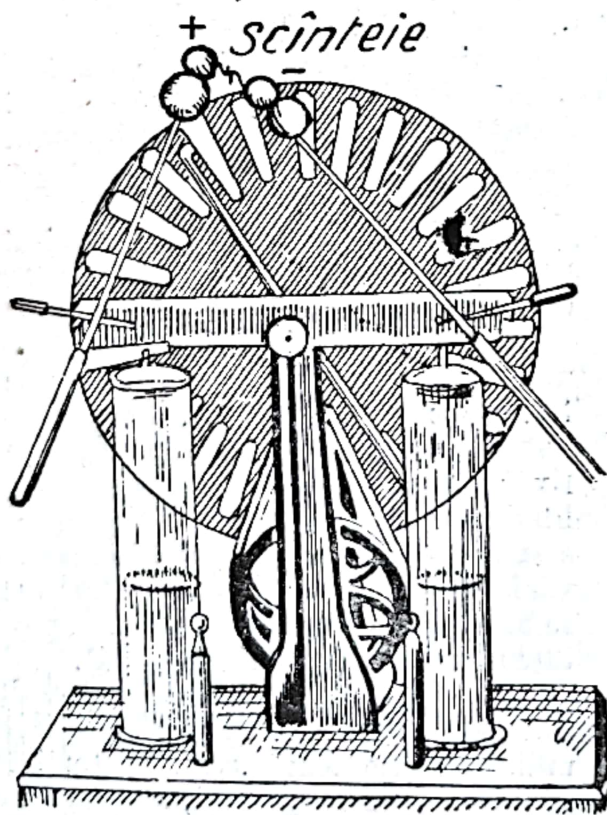


Fig. 367 — Mașină electrostatică de laborator (cu condensatori).

nu mai sînt folosite în electrologia medicală; ele păstrează numai un caracter istoric. În prezent se întrebuintează mașina de tip Wimshurst (fig. 367) cu sau fără sectoare de staniol.

a) Mașina electrostatică medicală se compune din mai multe perechi de discuri de sticlă sau de ebonită (fig. 368), în fiecare pereche unul din discuri învîrtindu-se într-un sens, iar celălalt în sens contrar.

În fața fiecărui disc se află cîte un conductor care are la capete niște periute metalice. La extremitatea diametrului se află colectorii, formați din doi conductori groși, prevăzuți cu mai multe vîrfuri ascuțite. De fiecare colector este legat polul respectiv, constituit dintr-o vergea de metal terminată în partea ei superioară cu o sferă, iar la cea inferioară cu un miner izolator.

Fiecare pol este pus în legătură cu un condensator cilindric, care poate înmagazina o cantitate mai mare de electricitate.

Mașinile electrostatice, care au aplicate sectoare de staniol, funcționează de cum încep să se învîrtească discurile. La modelele fără sectoare, cele mai răspindite în format mare, trebuie făcută la început o amorsare, adică trebuie să i se dea o cantitate mică de electricitate. Aceasta se face atingînd cu vîrfurile unuia deget unul din discurile în rotație. Se mai poate face amorsarea luînd pe deget puțină bisulfură de staniu și apăsînd pe discul în rotație. Polul pozitiv se formează la colectorul către care se îndreaptă partea discului frecată de deget. De îndată ce amorsarea a fost făcută, funcționarea mașinii se traduce printr-un zgomot particular și producere de scînteie între cei doi poli. Chiar dacă oprim puțin timp mașina, amorsarea rămîne și nu mai trebuie reînnoită; este de ajuns să punem din nou discurile în mișcare pentru ca mașina să se amorseze singură, folosind sarcinile electrice rămase pe discuri de la funcționarea anterioară.

Scînteile apar între cele două sfere polare, una încărcată pozitiv și una negativ, dacă distanța dintre ele nu întrece distanța disruptivă, pentru diferența de potențial respectivă. Scînteia este cu atît mai luminoasă cu cît poartă cu ea o cantitate mai mare de electricitate. Cum sferele polare au capacități electrice reduse, ele ating repede potențialul disruptiv, pentru o cantitate relativ mică de electricitate. De aceea, descărcarea se face aproape continuu, și anume prin scînteii slabe, puțin luminoase. Dacă însă colectorii sînt legați de condensatori cilindrici, se mărește mult capacitatea electrică a polilor, scînteile electrice devin mai rare, dar sînt mai puternice și mai luminoase.

Mașina electrostatică medicală își păstrează în timpul funcționării o polaritate constantă; aceasta se poate identifica cu ajutorul unui pendul electric format dintr-o bobită de măduvă de soc, suspendată de un fir de mătase. Încărcată cu ajutorul unui bastonaș de sticlă electrizat, deci cu sarcini pozitive, bobita este apropiată de unul din poli; dacă este atrasă, polul este negativ, iar dacă este respinsă, polul este pozitiv.

Mașina electrostatică este caracterizată de debitul și tensiunea ei (diferența de potențial).

b) **Debitul** mașinii reprezintă cantitatea de electricitate produsă într-o secundă. Mașina electrostatică medicală are un debit foarte mic, de ordinul unei miimi de coulomb pe secundă. Acest debit crește cu suprafața discurilor; dar, cum discurile de diametru mare se deformează ușor, se preferă înmulțirea perechilor de discuri pentru a se mări suprafața. Mașinile elec-

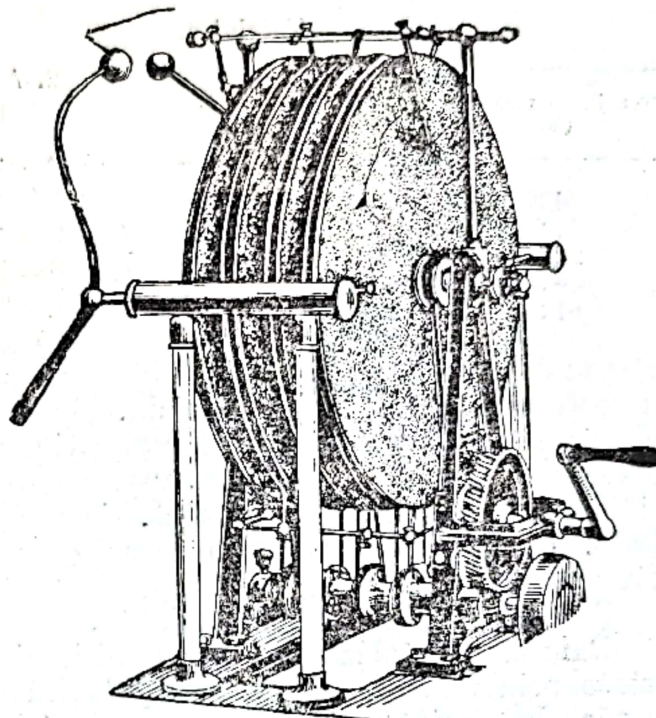


Fig. 368 — Mașină electrostatică medicală cu patru perechi de discuri (acționare manuală).

trostatice medicale au de obicei diametrul discurilor de 55 cm. Se întrebuințează în mod curent mașini cu 6; 8; 10 și 12 discuri.

c) **Tensiunea maximă** se exprimă prin diferența de potențial maximă ce se stabilește între poli în timpul funcționării mașinii electrostatice. Ea trece în general de 50 000 volți la mașinile electrostatice medicale. Se poate aprecia tensiunea maximă după lungimea scintei de descărcare; etalonarea se face cu aparate de măsurat, de precizie. O dată această etalonare făcută, se pot arăta câteva tensiuni maxime care corespund lungimilor scintei produse între cei doi poli (tabelul 41).

Tabelul 41

Tensiunea maximă (V)	Lungimea scintei (cm)
4 830	0,1
16 890	0,5
25 440	1
45 900	5
61 800	15

2. APLICAȚIILE MEDICALE ALE ELECTRICITĂȚII STATICE

Aplicațiile medicale ale electricității statice sînt cunoscute sub denumirea de *franklinizare* după numele lui *B. Franklin* (1706—1790). Aceste aplicații se fac în mai multe feluri, după efectele urmărite.

a) **Baia electrostatică** se realizează în modul următor: bolnavul șade pe un scaun, care se află (fig. 369) pe un postament cu picioare de sticlă. Bolnavul ține în mînă un conductor metalic, legat de obicei de polul negativ al mașinii electrostatice. Uneori conductorul legat de polul negativ se așază direct pe platforma izolatoare; celălalt pol este legat la pămînt. Corpul bolnavului se încarcă cu electricitate, care se pierde continuu prin asperitățile corpului și mai ales prin firele de păr.

Sedința durează 10 — 15 minute.

Baia electrostatică produce modificări importante în circulație, manifestate prin ridicarea frecvenței pulsului cu aproximativ 20%. După un număr de ședințe zilnice, creșterea frecvenței pulsului persistă mai multe zile.

Deoarece de cele mai multe ori tensiunea arterială crește, trebuie să se țină seama de acest efect fiziologic în aplicațiile terapeutice ale băii statice.

Baia statică este un tonic general și un sedativ al sistemului nervos, și de aceea este indicată în astenie, insomnie, hipotensiune arterială.

Baia electrostatică produce o ozonizare a aerului, ceea ce se recunoaște ușor după mirosul caracteristic al ozonului. Din cauza ozonizării aerului în fenomenele electrostatice, se stimulează funcțiile nutriției, arderile în organism sînt intensificate, ozonul fiind un excitant energetic al hematozei; cantitatea de CO_2 expirată este mai mare. Accentuarea combusțiilor din organism se manifestă și prin modificarea compoziției urinei; astfel, coeficientul azoturic (raportul dintre azotul ureei și azotul total) este mărit cu pînă la 10% la majoritatea bolnavilor. Dacă însă ședințele de

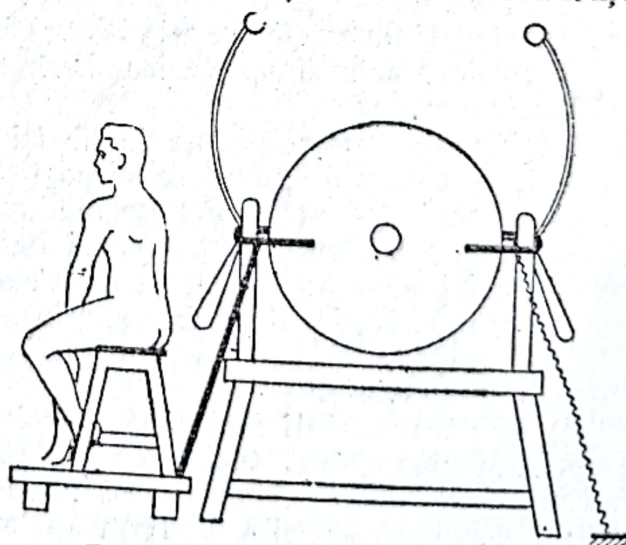


Fig. 369 — Baie statică (schemă).

franklinizare sînt prea lungi sau prea numeroase, se observă un efect invers, și anume micșorarea coeficientului azoturic.

Baia statică produce o dezasimilare mai perfectă, proporțiile de fosfați și acid uric din urină micșorîndu-se; pe de altă parte are loc o eliminare mai completă a toxinelor, ceea ce se constată prin faptul că toxicitatea urinii sporește. Analiza crioscopică a urinii arată la bolnavii tratați o elaborare mai perfectă a produselor de dezasimilare.

b) Efluviile electrice sînt o aplicație a fenomenului electrostatic descris mai înainte; sînt cunoscute sub numele de vînt electric sau suflu electric. Bolnavul este ținut în poziția pe care am arătat-o la baia statică; în dreptul regiunii de tratat se așază la oarecare distanță un electrod de construcție specială, pus în legătură cu pămîntul. Electrocul este o vergea de metal terminată cu un vîrf ascuțit. Efluviile au un efect sedativ și calmant. Ele se întrebuintează în tratarea plăgilor atone; se aplică în diferite afecțiuni cutanate: eczeme, prurit etc.

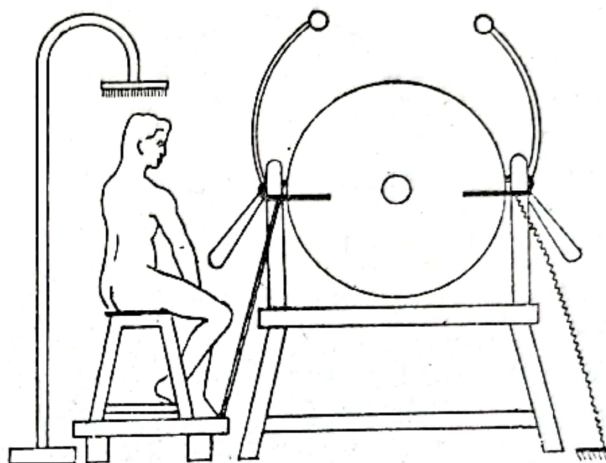


Fig. 370 — Duș electric (schemă).

Se mai poate face această aplicație legînd electrocul de un pol al mașinii electrostatice, bolnavul avînd contact direct cu pămîntul.

c) **Dușul electric** se face astfel: dacā în locul electrocului de metal cu vîrf ascuțit menționat mai înainte se așază un disc de lemn cu mai multe vîrfuri (fig. 370), de la aceste vîrfuri pornesc ioni gazoși care dau senzația unui duș; de aici și numele de duș electric. Ca și efluviile electrice, dușul electric are acțiune sedativă și produce uneori o acțiune analgezică.

d) **Scînteierea directă** se aplică de asemenea în terapeutică. Se supune bolnavul la baia electrică descrisă mai sus și se apropie de el electrocul pus în legătură cu pămîntul, dar care de data aceasta se termină cu o sferă metalică. Apropiînd sfera de corpul bolnavului, se produce o scînteie de descărcare. Se mai poate face această aplicație apropiînd de bolnav electrocul legat de un pol al mașinii electrostatice. În acest caz, între electrocul și subiect se produc scînteii electrice cu acțiune locală. Dacă se deplasează un sul metalic cu mîner izolat, pe corpul bolnavului îmbrăcat și ținut în baia statică, o ploaie de scînteii mici, foarte fine, trec prin haină și ating suprafața pielii; aplicația se numește fricțiune electrică.

Scînteia electrică produsă direct între excitatorul metalic și piele produce o senzație mai mult sau mai puțin intensă de înțepătură. Supunînd aceeași regiune unei serii de scînteii, se constată la început o vasoconstricție periferică, pielea devenind palidă; după această primă fază, urmează o vasodilatație: pielea prezintă hiperemie și ridicare a temperaturii. Aceste efecte revulsive sînt uneori folosite cu succes.

Aplicînd scînteile mai mult timp în același loc, se produce o mică escară, care se vindecă încet. Se pot distruge pe această cale mici epiteliome cutanate, negi etc.

e) **Scînteierea indirectă** este o aplicație electrostatică prin care se evită efectele directe ale scînteilor electrice asupra pielii. Se întrebuintează un excitator de formă specială, un electrod scînteietor format dintr-un cadru rectangular de ebonită, în care pătrund doi conducători terminați cu cîte o sferă. Unul din acești conductori este pus în legătură cu un pol al mașinii electrostatice, iar celălalt, care se termină în partea exterioară cu o sferă metalică, se aplică bolnavului. Prin apropierea sau depărtarea celor doi conductori în interiorul cadrului de ebonită se reglează scînteia de descărcare și se poate astfel doza comotia în corpul bolnavului.

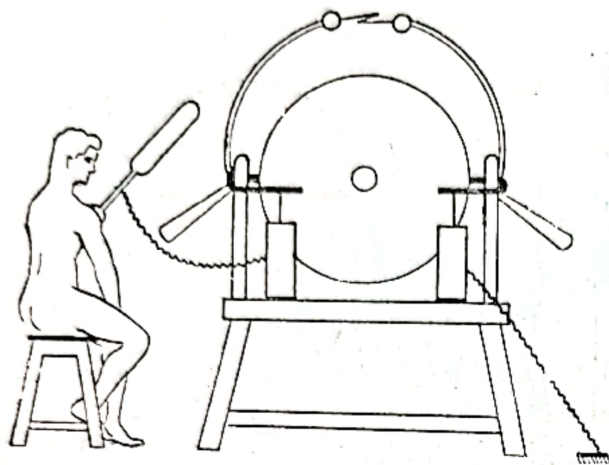


Fig. 371 — Curenți Morton (schemă).

procedeu electroterapeutic foarte util pentru a determina contracții musculare cu un minimum de senzații.

f) **Curenții Morton.** Această aplicație constituie o variantă a excitației mediate. Descărcarea electrică se produce între sferele polare ale mașinii electrostatice, care de data aceasta lucrează cu condensatori cilindrici (fig. 371). Fiecare pol al mașinii electrostatice se leagă de armătura internă a condensatorului cilindric respectiv. Armătura externă a unuia din condensatori se leagă la pământ, în timp ce armătura externă a celuilalt condensator se pune în contact cu un electrod care se aplică bolnavului.

După ce mașina electrostatică începe să funcționeze, apropiem sferele polare pînă ce se produc între ele scînteii. Intensitatea descărcării electrice care străbate corpul bolnavului se reglează făcînd să varieze, fie distanța dintre sferele polare, fie capacitatea condensatorilor. În această aplicație, corpul bolnavului este străbătut de curenți de înaltă frecvență foarte amorigizați, produși prin descărcarea oscilantă a condensatorilor.

Aplicarea curenților Morton produce efecte motorii puternice, aici asociindu-se efectele înaltei frecvențe cu cele ale scînteierii indirecte.

Curenții Morton (numiți și curenți statici induși) produc cu ușurință contracții musculare puternice și nedureroase.

Aceste aplicații sînt folosite mai ales pentru a acționa asupra mușchilor netezi ai organelor profunde, de pildă ai stomacului, în cazuri de atonie. Efectele se obțin deplasînd pe regiunea cutanată, corespunzătoare organului profund, un electrod spongios bine ud și pus în legătură cu armătura externă a unuia din condensatori, în timp ce armătura externă a celuilalt condensator este pusă la pământ.

Contracții musculare de profunzime se mai pot produce aplicînd o variantă simplificată a curenților Morton; se lucrează cu mașina electrostatică medicală fără condensatori cilindrici, unul din polii mașinii fiind dat la pământ, iar celălalt aplicat bolnavului.

II. CURENTUL CONTINUU

A. NOȚIUNI FUNDAMENTALE

1. CURENTUL ELECTRIC

Se numește curent electric deplasarea unor sarcini electrice.

Purtătorii de sarcini sînt în unele cazuri atomi sau grupe de atomi (ioni), cum este cazul la conductibilitatea electrolitică sau la descărcările electrice din gazele rarefiate. În alte cazuri, deplasarea sarcinilor este condiționată de mișcarea electronilor, cum este în cazul curentului electric care trece printr-un conductor metalic sau cum este fluxul electronic dintr-un tub catodic. Oricare ar fi însă modul de deplasare a sarcinilor, prezența curentului electric este legată de anumite fenomene comune, cum este de exemplu apariția unui cîmp magnetic.

a) **Intensitatea curentului electric.** Curentul electric este caracterizat de o mărime numită intensitate. Intensitatea este mărimea fizică ce se măsoară prin cantitatea de electricitate care traversează o suprafață dată, în unitatea de timp. Deci, dacă o cantitate elementară de electricitate ΔQ trece într-un interval de timp elementar Δt printr-o suprafață dată, intensitatea I a curentului este dată de expresia

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

Intensitatea curentului ia uneori numele mai simplu de „curent“.

b) **Unități.** Unitatea de intensitate a curentului în sistemul CGSes se deduce din expresia fundamentală de mai sus. Ea este intensitatea care face să treacă o unitate CGSes de cantitate de electricitate, în o secundă, prin suprafața dată. Această unitate fiind însă foarte mică, se ia în sistemul practic, ca unitate, *amperul*, care reprezintă intensitatea curentului ce face să treacă o cantitate de electricitate egală cu 1 coulomb, în 1 secundă, prin suprafața dată.

Amperul are deci valoarea următoare:

$$\begin{aligned} 1 \text{ amper} &= \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ secundă}} = \frac{3 \cdot 10^9 \text{ unități CGSes de cantit. electricit.}}{1 \text{ secundă}} = \\ &= 3 \cdot 10^9 \text{ unități CGSes de intensitate electrică.} \end{aligned}$$

2. LEGEA LUI OHM

Curentul a cărui intensitate nu variază în funcție de timp, pentru o secțiune dată, se numește *curent continuu*.

Curentul apare în conductori numai cînd aceștia prezintă regiuni care se găsesc la potențiale diferite. Curentul circulă pînă cînd potențialele celor două puncte se egalează. Menținînd o diferență constantă de potențial la capetele unei porțiuni de conductor, prin această porțiune va trece un curent continuu.

Experiența arată că intensitatea I a curentului care trece printr-o porțiune a unui conductor omogen satisface legea lui Ohm, care se exprimă astfel:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R},$$

unde $V_1 - V_2$ este diferența de potențial dintre punctele extreme al porțiunii de conductor considerată, iar R este o mărime numită rezistența electrică a conductorului. Legea lui Ohm arată că intensitatea curentului este direct proporțională cu diferența de potențial de la capetele porțiunii de conductor și invers proporțională cu rezistența acestei porțiuni.

Această lege fundamentală a curentului electric a fost descoperită de profesorul Georg Simon Ohm (1787—1854) și formulată în 1826 pe baza a numeroase măsurători și calcule. Observînd că intensitatea curentului dat de un element galvanic se modifică cu timpul (din cauza fenomenului de polarizare), Ohm a folosit în cercetările sale un termoelement (cuplu termoelectric) care, avînd una din suduri în gheață și cealaltă în apă care fierbe, i-a furnizat un curent de diferență constantă de potențial și deci de intensitate constantă.

Legea lui Ohm a fost verificată de numeroși cercetători, care au stabilit că ea este valabilă, cu foarte mare precizie, chiar la intensități electrice foarte mari.

a) **Rezistența conductorilor.** Rezistența electrică a porțiunii de conductor considerată depinde de substanța din care este făcut conductorul și de dimensiunile lui. Pentru o porțiune de conductor cu secțiunea transversală constantă s și de lungimea l , rezistența este egală cu

$$R = \rho \frac{l}{s},$$

unde ρ este o mărime care depinde de substanța din care este făcut conductorul; această mărime se numește rezistență specifică sau rezistivitatea substanței. Expresia de mai sus a rezistenței arată că rezistența opusă de un conductor la trecerea unui curent este cu atît mai mare cu cît conductorul este mai lung și cu atît mai mică cu cît conductorul are secțiunea mai mare.

Dacă se dă elementelor s și l valoarea 1, se obține valoarea lui ρ :

$$\rho = R.$$

Din această relație reiese că rezistența specifică ρ este egală cu rezistența unui conductor care are lungimea egală cu unitatea de lungime și secțiunea egală cu unitatea de suprafață.

Ca unitate de rezistență se ia în sistemul CGSes rezistența unui conductor care, avînd la capete o diferență de potențial de 1 unitate CGSes, este străbătut de un curent de intensitate de 1 unitate CGSes. Această unitate este foarte mare.

Ca unitatea practică se ia ohmul (Ω), care reprezintă rezistența unui conductor în care ia naștere un curent de un amper la o diferență de potențial de un volt. Legătura dintre ohm și unitatea CGSes de rezistență reiese din legea lui Ohm:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ohm} &= \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ amper}} = \frac{1/300 \text{ unități CGSes de potențial}}{3 \cdot 10^9 \text{ unități CGSes de intensitate}} = \\ &= \frac{1}{9} \cdot 10^{-11} \text{ unități CGSes de rezistență.} \end{aligned}$$

În expresia rezistivității, lungimea conductorului se ia în cm și secțiunea în cm^2 , așa că unitatea de rezistență specifică se numește ohm-cm.

În practică se ia lungimea conductorului de 1 m și secțiunea de 1 mm², așa că

$$1 \text{ unitate tehnică de rezistență specifică} = 1 \text{ ohm} \frac{0,01 \text{ cm}^2}{100 \text{ cm}} = 10^{-4} \text{ ohm-cm.}$$

b) **Conductibilitatea.** Se utilizează de multe ori și mărimea inversă rezistenței, numită conductibilitate. Inversul rezistenței specifice ρ (rezistivității) este numită conductibilitatea electrică specifică σ (conductivitate).

Avem deci:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}.$$

Trebuie menționate două fenomene de care depinde în anumite cazuri rezistența specifică: supraconductibilitatea și conductibilitatea unilaterală.

La temperaturi obișnuite, aproape la toate metalele, rezistența specifică variază liniar, în funcție de temperatură, după ecuația

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

unde t este temperatura în °C, ρ_0 = rezistența specifică la temperatura 0°, iar α este un coeficient de proporționalitate care pentru metale chimic pure are o valoare apropiată de $1/273$.

La temperaturi înalte, valoarea coeficientului α crește, iar la temperaturi joase, descrește. La temperaturi foarte joase de exemplu de la 1 la 7°K, rezistența electrică a unor metale sau aliaje scade brusc, devenind infinit de mică, practic egală cu zero. Fenomenul numit *supraconductibilitate* a fost descoperit în 1911 de Kammerling-Onnes și studiat în ultima vreme foarte amănunțit de A. I. Salnikov, L. D. Landau ș.a.

Fenomenul de *conductibilitate unilaterală* ia naștere la punctele de contact ale unor semiconductori cu metalele; astfel, la contactul unui strat de oxid cupros Cu₂O cu un metal, se formează un strat de baraj care permite curentului să treacă numai într-o singură direcție. Aceasta înseamnă că, practic, intensitatea curentului este de mii de ori mai mare când curentul trece de la metal la oxidul cupros decât când trece în sensul contrar.

Această însușire a unor semiconductori (oxidul cupros, seleniu ș.a.) este folosită la construirea redresorilor de curent alternativ, numiți redresori uscați (de seleniu, de cuproxid ș.a.) și utilizați pentru încărcarea acumulatorilor, la redresarea curentului alternativ de sector pentru alimentarea aparatelor electromedicale, aparatelor de radio, de măsurat etc.

3. LEGEA CURENȚILOR DERIVAȚI

Curenți derivați se numesc curenții care circulă prin ramificațiile unui circuit principal.

Astfel, dacă în circuitul unui generator electric prin care circulă curentul continuu, urmînd drumul *PACBN*, legăm un conductor *ADB* (fig. 372), acesta va constitui o derivație, iar porțiunea din circuitul principal *ACB* pe care o delimitează devine și ea o derivație, așa că de fapt circuitul s-a ramificat în *A* în două derivații și acestea s-au reunit în *B*.

Pentru simplificare, dacă considerăm conductorul de secțiune constantă, potrivit legii lui Ohm, intensitatea curentului care străbate circuitul nederivat este aceeași.

Avînd două sau mai multe derivații, intensitatea curentului din circuitul principal este egală cu suma intensităților curenților din circuitele derivate.

$$I = i_1 + i_2.$$

Dacă derivațiile sînt la fel de lungi, au aceeași secțiune, și sînt făcute din același material, intensitatea curenților derivați este egală și are valoarea de atîtea ori mai mică decît cea a circuitului principal, cîte derivații s-au produs. Cum însă nu totdeauna are loc cazul de mai sus, rezistența fiind în fiecare derivație alta (din cauza lungimii, secțiunii sau rezistivității), intensitățile în circuitele derivate sînt diferite, și anume sînt invers proporționale cu rezistențele:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

Deci, cu cît o derivație are rezistența mai mare, cu atît partea de curent care trece prin ea are o intensitate mai mică.

Cele de mai sus constituie legile curenților derivați. Aceste

Fig. 372.—Circuite derivate.

legi poartă numele lui Kirchhoff, care le-a descoperit și studiat.

B. GENERATORII DE CURENT CONTINUU

1. GENERATORII CHIMICI DE CURENT ELECTRIC

Pentru a putea întreține un curent continuu într-un conductor, este necesar să se mențină o diferență de potențial la capetele acestui conductor. Se poate menține această diferență de potențial cu ajutorul unor dispozitive numite generatori de curent electric.

Din această categorie fac parte și generatorii chimici de curent electric. Se numesc generatori chimici de curent electric aparatele care produc curent electric prin transformarea energiei chimice în energie electrică.

Ca exemple de astfel de surse de curent se pot da elementele electrice cunoscute sub numele de elemente galvanice, elemente voltaice sau pile electrice (fig. 373) așa cum se va arăta mai departe.

Înainte de a studia modul de producere a diferenței de potențial într-un asemenea element electric, să examinăm părțile esențiale ale unui astfel de generator și mărimile electrice care-l caracterizează.

Un generator chimic are doi electrozi de care este legat circuitul exterior; extremitățile exterioare ale acestor electrozi se numesc polii elementului și se termină de obicei cu piese numite borne, la care se poate conecta circuitul exterior. Una din borne constituie polul pozitiv al elementului, iar cealaltă, polul negativ.

a) **Forța electromotoare.** Mărimea care caracterizează un generator chimic este forța lui electromotoare E . Aceasta se măsoară prin lucrul mecanic pe care-l produce generatorul cînd debitează o cantitate de electricitate egală cu un coulomb. Dacă în timpul t un generator electric a produs un lucru A făcînd să circule o cantitate de electricitate q , lucrul mecanic are valoarea

$$A = Eq, \quad (1)$$

de unde

$$E = \frac{A}{q}.$$

Înlocuind pe q prin produsul It dintre intensitatea curentului și timpul considerat, obținem

$$A = EIt. \quad (2)$$

Puterea generatorului, adică lucrarea produsă în unitatea de timp fiind exprimată prin relația

$$P = \frac{A}{t}, \quad (3)$$

dacă facem substituirile care rezultă din (2), obținem

$$P = EI, \quad (4)$$

adică puterea unui curent electric este produsul dintre forța sa electromotoare și intensitatea curentului care circulă prin conductor.

Unitatea în care se exprimă forța electromotoare rezultă din următoarele considerații: o cantitate de electricitate q face un lucru mecanic într-un segment de circuit ale cărui capete prezintă diferența de potențial $V_1 - V_2$; acest lucru mecanic este egal cu

$$A = q(V_1 - V_2), \quad (5)$$

de unde

$$\frac{A}{q} = V_1 - V_2,$$

adică lucrul mecanic, efectuat de curent pentru a transporta între două puncte date o unitate de cantitate de electricitate, reprezintă însăși diferența de potențial dintre acele două puncte. *Forța electromotoare se exprimă deci în volți, ca și diferența de potențial.*

Generatorul electric creează și menține tot timpul diferența de potențial între poli.

Dacă introducem într-un circuit închis o sursă de curent care să întrețină în circuit o diferență constantă de potențial, putem studia circulația curentului care are loc în acel circuit închis, ținînd seama de rezistența exterioară și de rezistența interioară (fig. 374).

Urmărind fenomenele energetice din circuit, constatăm că circuitul exterior are, la extremitățile A și B ale conductorului, potențialele V_1 și

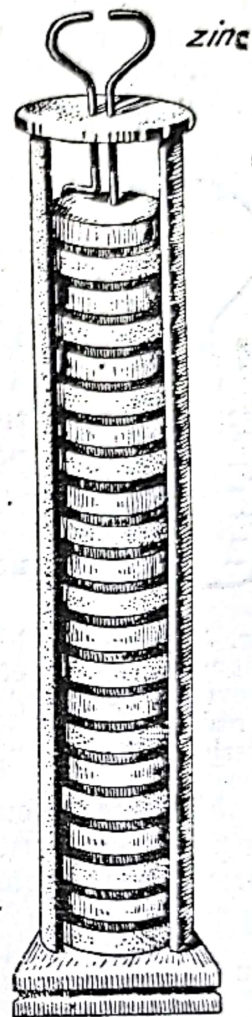


Fig. 373—„Pila“ electrică a lui Volta (pillum=coloană) era formată din discuri de cupru, de zinc și de postav îmbibat cu H_2SO_4 . Discurile extreme ale coloanei erau legate cu reofori care închideau circuitul.

V_2 , care reprezintă tocmai potențialul electrozilor uniți cu un conductor de rezistență dată. Dacă potențialul V_1 este mai mare decât V_2 , curentul din circuitul exterior circulă de la A la B , deci avem o cădere de potențial. Această cădere de potențial are, după legea lui Ohm, expresia

$$V_1 - V_2 = IR, \quad (6)$$

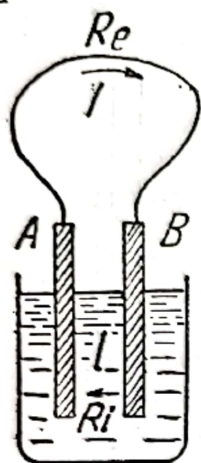
unde R este rezistența exterioară.

Curentul fiind un transport de sarcină, circuitul trebuie să fie închis pentru ca acest curent să poată circula; deci, în partea interioară a elementului (fig. 375), curentul trebuie să treacă de la electrodul B la electrodul A . Aceasta devine posibil numai dacă se schimbă brusc diferența de potențial la contactul dintre electrozi și electrolit. La contactul dintre electrodul B și electrolit apare astfel o creștere bruscă de potențial până la valoarea V'_2 . Curentul electric circulând de la B la A în circuitul interior, înseamnă că de la V'_2 la V'_1 are din nou loc o cădere de potențial. Această cădere de potențial, reprezentată schematic în fig. 375, se exprimă, potrivit legii lui Ohm, prin formula

$$V'_2 - V'_1 = IR_0, \quad (7)$$

unde R_0 este rezistența interioară.

Fig. 374 — Circuit cu rezistența exterioară R_e și rezistența interioară R_i .



Pentru ca elementul să poată debita din nou curent, prin procesul de transformare a energiei chimice, despre care vom vorbi mai departe, trebuie să existe la suprafața de contact a electrodului A cu electrolitul un potențial ridicat V_1 ; deci are loc un salt de potențial de la V'_1 la V_1 .

Suma algebrică a salturilor de potențial este egală, în circuitul închis, cu suma algebrică a căderilor de potențial. Cum însă salturile de potențial constituie tocmai forța electromotoare care permite circulația curentului prin conductor, vom avea, notînd cu e și e' salturile de potențial:

$$IR + IR_0 = e + e'$$

sau

$$IR + IR_0 = E \quad (8)$$

Relația (8) reprezintă legea lui Ohm pentru un circuit închis; ea se poate scrie și sub forma următoare

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

de unde reiese că intensitatea curentului într-un circuit închis este direct proporțională cu forța electromotoare E și invers proporțională cu rezistența totală (rezistența exterioară și rezistența interioară a circuitului $R + R_0$).

Înlocuind pe IR din relația $V_1 - V_2 = IR$ în relația (8) obținem:

$$V_1 - V_2 = E - IR_0 \quad (9)$$

Această relație arată că diferența de potențial $V_1 - V_2$ la bornele elementului electric este egală cu forța electromotoare E minus căderea de potențial din interiorul

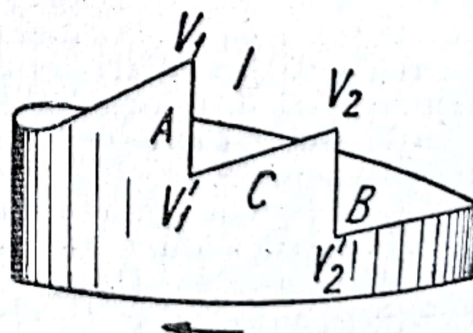


Fig. 375 — Reprezentarea salturilor și căderilor de potențial.

elementului. Cu cât căderea de potențial din interiorul elementului electric este mai mare, cu atât diferența de potențial de la borne se deosebește mai mult de forța sa electromotoare. Dacă circuitul elementului este deschis, curentul nu circulă; intensitatea I este egală cu zero și deci căderea de potențial din interior este de asemenea egală cu zero. Din formula (9) rezultă, în acest caz, că $E = V_1 - V_2$; forța electromotoare E a unui element electric este deci egală cu diferența de potențial la bornele elementului electric, când acesta nu funcționează.

b) **Elementele galvanice.** Am arătat că, în metale, curentul electric constă în deplasarea electronilor liberi, care poartă sarcinile electrice. În electrolite, purtătorii de sarcini sînt ionii. Dizolvînd electrolitele, moleculele acestora se disociază în ioni, adică în particule încărcate cu sarcini electrice de semn contrar. Astfel, sulfatul de cupru CuSO_4 se disociază în ioni pozitivi de Cu^{++} și ioni negativi de SO_4^{--} ; acest proces poartă numele de disociație electrolitică.

Sub influența unui cîmp electric exterior, deplasarea ionilor rezultați din disociația electrolitică dă naștere unui curent în electrolit.

Electrolitul, care este un conductor de categoria a II-a, are și un rol în apariția forței electromotoare.

Formînd un circuit închis dintr-o sîrmă metalică sau din mai multe fragmente de cîrmă, sudate cap la cap, în acest circuit nu apare nici o forță electromotoare. Dacă formăm însă un circuit închis din conductori de categoria I și de categoria a II-a, apare în acest circuit o forță electromotoare. Un asemenea aparat, în care se asociază conductori de categoria I, metalici, cu conductori de categoria a II-a, electrolite, ia numele de element electric sau element galvanic (după numele medicului Galvani, 1737 — 1798).

Așa cum am arătat (vezi și fig. 373) se mai folosește pentru elementul galvanic și denumirea veche de pilă galvanică, pilă voltaică sau pilă electrică, ca o reminiscență a formei de pilon (*pillum*=coloană) pe care au avut-o primele elemente construite de Volta (1745 — 1827).

Am văzut în expunerea schematică a funcționării unui element galvanic cum, la suprafața de contact dintre metal și electrolit se produce un salt de potențial, alimentat mereu de energia chimică a substanțelor aflate în contact.

Cel mai simplu element galvanic este alcătuit dintr-o placă de cupru și una de zinc, introduse într-o soluție diluată de acid sulfuric (fig. 376).

Considerînd numai placa de zinc, vom constata că, introdusă în soluție de acid sulfuric diluat, ea începe să se dizolve. Atomii de zinc nu trec în soluție sub formă de atomi, ci sub formă de ioni pozitivi Zn^{++} , iar electronii, rămași din atomii neutri, vor rămîne în placa de zinc, care devine astfel încărcată negativ. Acidul sulfuric, primind la rîndul său ioni pozitivi de zinc, se încarcă pozitiv. La suprafața de contact dintre zinc și soluția de H_2SO_4 apare astfel o creștere de potențial și un cîmp electric. Acest cîmp electric îndreptat de la lichid spre metal împiedică ieșirea ulterioară de noi ioni pozitivi de zinc din soluție. Forțele electrice echilibrează pe cele

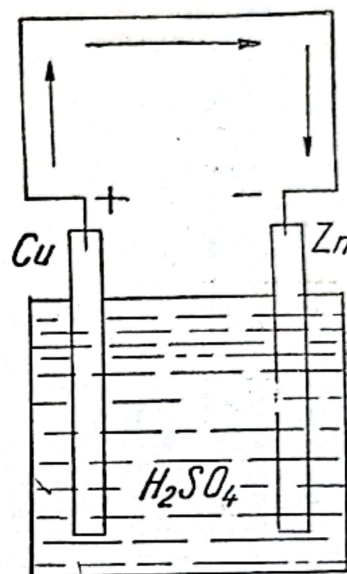


Fig. 376—Element galvanic compus dintr-o placă de zinc și una de cupru introduse în acid sulfuric.

chimice cînd există o diferență de potențial bine determinată între metal și soluție (în cazul zincului pur: 0,51 V); în acest moment încetează dizolvarea zincului în acidul sulfuric.

Unind placa de zinc și cea de cupru, cu ajutorul unui fir metalic, plusul de electroni din zinc trece, prin conductorul de legătură, în cupru și de aci în soluție, așa că diferența de potențial care a existat între zinc și acidul sulfuric scade și el; zincul începe să se dizolve din nou și ionii pozitivi trec din nou în soluție. O diferență de potențial analogă apare și la suprafața de contact a cuprului cu acidul sulfuric diluat.

Lucrul mecanic făcut de energia chimică întreține aceste diferențe inegale de potențial, determinînd existența forței electromotoare a elementului galvanic.

Elementul Leclanché. Acest element este folosit ca generator chimic sub diferite forme (umed și uscat), în numeroase domenii. Este alcătuit dintr-un vas de sticlă (fig. 377) în care se introduce o vergea cilindrică de zinc amalgamat, care constituie polul negativ și un vas de argilă poros sau o simplă pungă de pinză mai deasă cuprinzînd un amestec de granule de bioxid de mangan și de cocs, în care se află electrodul pozitiv; acesta constă dintr-o placă de cărbune de retortă. În vas se introduce electrolitul, care în acest caz, este o soluție de clorură de amoniu în apă.

Clorura de amoniu este disociată în soluție, în ioni NH_4^+ și Cl^- ; ionii de clor se combină cu zincul, fiecare pereche de

ioni de clor scoțînd din electrodul de zinc un atom lipsit de doi electroni. Zincul trece astfel în soluție sub formă de ioni de zinc Zn^{++} , iar în soluție apare clorura de zinc ZnCl_2 . Electronii rămași în vergeaua de zinc trec prin conductorul exterior, constituind astfel curentul electric și ajung în placa de cărbune, care, primind electronii, se încarcă negativ. Cărbunele atrage ionii NH_4^+ și cedează fiecăruia cîte un electron. Ionii NH_4^+ , prin descărcare, devin radicali NH_4 , care nu pot exista liberi, și se transformă în NH_3 și H. Amoniacul astfel apărut se dizolvă în apă, iar hidrogenul este pus în libertate în imediata apropiere a electrodului de cărbune.

Înconjurarea electrodului pozitiv cu un înveliș de hidrogen împiedică continuarea reacțiilor electrochimice arătate, așa că producerea de curent se oprește. Fenomenul este cunoscut sub denumirea de *polarizarea* elementelor galvanice. Efectul acestei polarizări este o slăbire progresivă a polarității inițiale, pînă la încetarea curentului. Îndepărtarea hidrogenului de la polul pozitiv al unui ele-

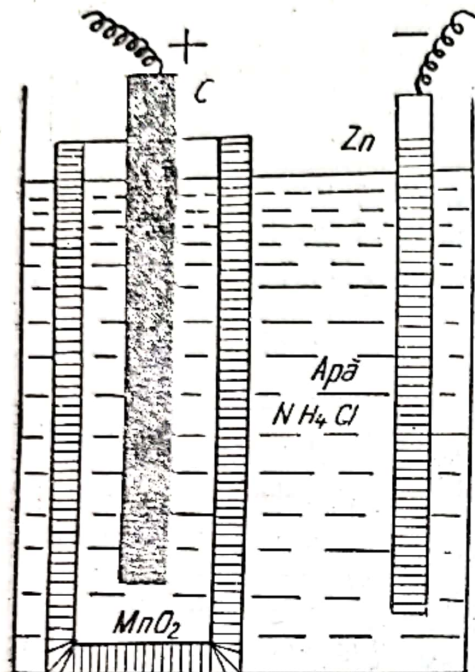


Fig. 377—Element Leclanché cu depolarizant MnO_2 .

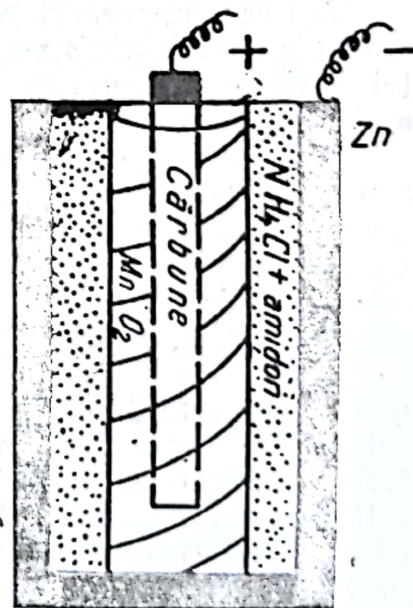


Fig. 378 — Element Leclanché uscat.

ment galvanic se face prin mijloace mecanice sau chimice; astfel, ori se agită acest pol pentru a se produce îndepărtarea bulelor de hidrogen, ori se oxidează hidrogenul cu ajutorul unui depolarizant care îl transformă în apă.

Elementul Leclanché este un element polarizabil. În acest element, depolarizantul este bioxidul de mangan menținut cu ajutorul vasului poros sau al săculețului de pânză în imediata apropiere a electrodului pozitiv. Acțiunea oxidantă a bioxidului de mangan fiind lentă, depolarizarea nu se poate face complet în timpul funcționării elementului, așa că se utilizează elementul cu intermitență, pentru ca, în timpul cît nu funcționează, să se poată face depolarizarea. Elementul Leclanché este deci potrivit pentru o funcționare intermitentă.

Pentru aparatele electromedicale, pentru telefoane, radio, lămpi de buzunar, se construiesc elemente Leclanché „uscate”; în acestea, electrolitul este încorporat într-un gel de agar-agar sau de amidon. Un element Leclanché uscat este alcătuit dintr-un vas cilindric mic, de zinc (fig. 378), care este electrodul negativ; în mijlocul acestui cilindru se află o vergea subțire de cărbune, înconjurată de un săculeț de pânză care conține bioxid de mangan. Vasul de zinc se umple cu gelul care cuprinde soluția de clorură de amoniu (NH_4Cl).

Forța electromotoare a elementului Leclanché este de 1,45 V.

Elementele uscate, ca și cele umede, se grupează de obicei *în serie*, legîndu-se polul negativ al unui element cu cel pozitiv al celui alt, astfel că extremitățile acestei „baterii” galvanice sînt constituite dintr-un pol pozitiv și unul negativ. Forța electromotoare a bateriei galvanice este aproximativ egală cu suma forțelor electromotoare ale elementelor care o compun.

Elementele pot fi grupate și *în suprafață*, legîndu-se polii pozitivi la un loc și cei negativi la un loc. Forța electromotoare a unei asemenea baterii este egală cu cea a fiecărui element, dar rezistența ei interioară este mult mai mică, iar intensitatea curentului este egală cu suma intensităților tuturor elementelor legate în suprafață.

Elementul Daniell, reprezentat schematic în fig. 379, se compune dintr-o placă de zinc, introdusă într-o soluție de sulfat de zinc (ZnSO_4) și dintr-o placă de cupru introdusă într-o soluție de sulfat de cupru (CuSO_4); soluțiile sunt despărțite între ele printr-un perete poros.

Elementul Daniell funcționează în modul următor: placa de zinc se încarcă negativ datorită trecerii ionilor de Zn^{++} în soluție, iar la suprafața de contact dintre placa de zinc și soluție apare o diferență de potențial de +0,51 V. Placa de cupru se încarcă pozitiv datorită ionilor pozitivi care trec pe placă din soluția în care moleculele de CuSO_4 se disociază în ioni negativi SO_4^- și ioni pozitivi de Cu^{++} . La suprafața de contact dintre soluție și cupru apare o diferență de potențial de +0,60 V. În fine, în circuitul închis, trebuie să se țină seama și de diferența de potențial creată la contactul celor două soluții, diferență care depinde de concentrația soluțiilor.

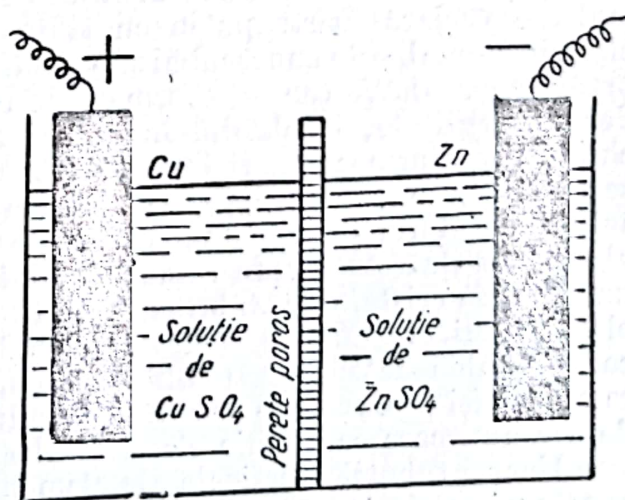
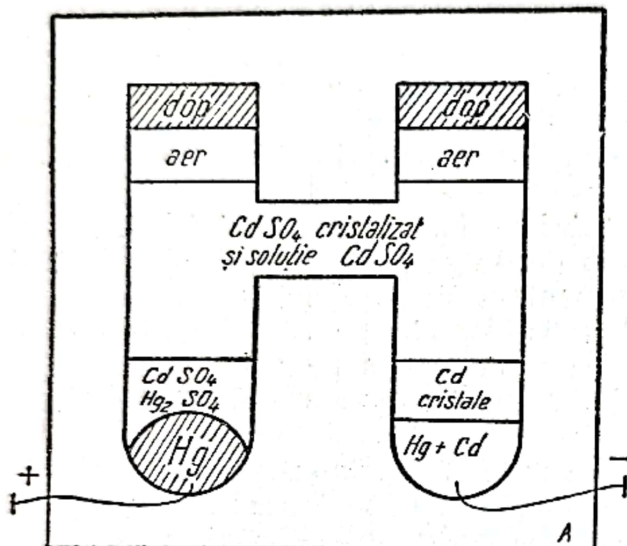


Fig. 379 --- Element Daniell (nepolarizabil).

În mod practic, forța electromotoare a elementului Daniell este compusă de fapt din două salturi de potențial, care apar la suprafețele de contact ale plăcilor metalice cu soluția corespunzătoare. Aceste salturi de potențial fiind egale cu $+0,51$ V și $+0,60$ V, forța electromotoare a elementului Daniell este de $1,11$ V.

După cum reiese din cele arătate mai sus, în decursul funcționării elementului Daniell, zincul trece în soluție în sulfatul de zinc, care astfel se concentrează; în acest timp, cuprul iese din soluția de sulfat de cupru și se depune pe electrodul de cupru, astfel că soluția de sulfat de cupru se diluează. Electrodul de zinc se consumă, cel de cupru crește în greutate. În toate aceste reacții nu apare nici un



a — schema; b — construcția termoizolantă.

Fig. 380 — Element normal Weston.

compus chimic care să atace polul pozitiv. Elementul Daniell este deci un element electric nepolarizabil.

Elementul Daniell este folosit în laborator la determinări potențiometrice de pH.

Elementul normal (Weston). Ca etalon pentru forța electromotoare a elementelor este utilizat un element de cadmiu-mercur a cărui forță electromotoare variază foarte puțin cu timpul. Acest element, numit element electric normal, este cunoscut și sub numele de *element Weston*.

Elementul Weston este format dintr-un vas în formă de U, din sticlă de bună calitate, insolubilă în apă și neatacabilă de diferitele substanțe chimice care urmează a fi introduse în vas. În una din ramurile vasului se află, la fund, mercur și deasupra un strat format dintr-un amestec de sulfat de cadmiu și sulfat mercuric. Această ramură formează polul pozitiv al elementului etalon. În ramura cealaltă se află amalgam de cadmiu și un strat de cristale de cadmiu; această ramură formează polul negativ al elementului. În ambele ramuri (fig. 380), deasupra substanțelor arătate, se află, pînă deasupra tubului orizontal care face legătura celor două ramuri verticale, cristale de sulfat de cadmiu și o soluție saturată de sulfat de cadmiu, care constituie electrolitul elementului Weston.

Uneori tuburile verticale ale elementului sînt gîtuite în regiunea unde se află cristalele de sulfat de cadmiu. Aceste cristale sînt presate și formează

un bloc care împiedică amestecarea substanțelor, în cazul cînd elementul Weston nu ar sta în poziție verticală. Cele două ramuri verticale sînt închise ermetic în partea superioară, după ce li s-a lăsat un strat de aer.

Prin partea inferioară intră în cele două ramuri verticale cîte un electrod de platină; aceștia sînt legați de cîte o bornă montată pe peretele de lemn al cutiei în care elementul Weston este fixat în poziție verticală. Cutia se închide cu o ușiță laterală pentru a se evita acțiunea luminii asupra sulfatului mercurios și a se permite în același timp accesul la element.

Elementul normal are o forță electromotoare constantă, $E = 1,01839 \text{ V}$ la 20° și $E = 1,01807 \text{ V}$ la 25° . Între temperaturile de -20 și $+40^\circ$, forța electromotoare a acestui element variază insensibil; aceasta se datorește faptului că elementul etalon nu este polarizabil și că soluția saturată de sulfat de cadmiu care alcătuiește electrolitul, compensează modificările de concentrație survenite în timpul funcționării elementului etalon.

Elementul normal se prezintă sub două forme: neutru și acid. În elementul neutru, sulfatul de cadmiu este dizolvat în apă, pe cînd în cel acid, sulfatul de cadmiu este dizolvat într-o soluție $n/1$ de acid sulfuric. Deosebirea în caracteristici constă în faptul că elementele Weston acide au variații mai mici de forță electromotoare decît cele neutre.

Elementul etalon trebuie folosit, de fiecare dată, numai un timp foarte scurt, altfel forța lui electromotoare scade brusc și nu revine la valoarea ei inițială decît după trecerea unui anumit interval de timp. Elementul Weston nu se utilizează ca generator practic de curent, ca celelalte elemente electrice, ci numai ca etalon pentru măsurarea, prin comparație, a forței electromotoare a altor generatori chimici.

Elementele de concentrație. Elementele de concentrație sau pilele de concentrație sînt generatori chimici folosiți în măsurătorile electrochimice. Se construiesc pile de concentrație de două tipuri. Unele au ambii electrozi la fel (de exemplu, de argint), dar introduși, în soluții de concentrație diferită ale aceleiași sări a metalului respectiv; în exemplul citat, soluția este de nitrat de argint (AgNO_3), și are concentrații diferite la cei doi electrozi. Alte pile de concentrație au electrozii din același amalgam, dar de diferite concentrații (de exemplu, amalgam de zinc, în care proporțiile de Hg și Zn nu sînt identice la cei doi electrozi) și electrolitul același (în cazul dat, sulfat de zinc ZnSO_4).

c) **Acumulatorii electricei.** Acumulatorii electrice sînt generatori de curent continuu de tip special.

Principiul acumulatorilor este următorul: introducînd într-un electrolit, de exemplu într-o soluție de CuSO_4 , doi electrozi de platină identici, nu se obține nici o forță electromotoare la extremitățile dinafară ale electrozilor. Dacă lăsăm să treacă însă prin soluția de sulfat de cupru curentul electric al unei baterii de elemente galvanice, se va produce electroliza soluției; ionii din soluție se vor descărca și se vor depune la electrozi: cuprul se depune pe electrodul de platină, care servește drept catod, iar radicalul SO_4 , neputînd exista ca atare, reacționează cu apa cînd ajunge la electrodul de platină, care are rolul de anod, dînd acidul sulfuric și eliberînd oxigen. Curentul trecînd cîtva timp, electrozii aflați în soluția de CuSO_4 nu vor mai fi deci identici: unul din ei (catodul) va fi acoperit cu un strat de cupru, iar celălalt (anodul) va fi înconjurat de oxigen; se va produce deci fenomenul de polarizare.

Deconectînd sistemul de la bateria care a servit la producerea electrolizei, el va putea funcționa ca element galvanic datorită polarizării, deci va deveni *un element de polarizare*.

Un asemenea sistem, dacă se unesc cei doi electrozi printr-un conductor extern, închizând astfel circuitul, produce curent pînă ce electrozii se vor depolariza datorită reacțiilor chimice inverse celor menționate mai înainte.

Un astfel de element se mai numește *element electric secundar*, fiindcă nu poate funcționa fără să fi fost mai întîi încărcat, adică fără să fi trecut prin el curentul electric, care să producă modificările chimice, ce se traduc prin polarizarea sistemului.

Acest generator se mai numește și *acumulator* fiindcă acumulează și înmagazinează oarecum energia electrică sub formă chimică și restituie apoi energia electrică pentru diferite utilizări.

Pentru a putea fi folosit în practică, un acumulator trebuie să îndeplinească următoarele condiții: 1) polarizarea elementului trebuie să fie stabilă, adică acumulatorul să nu se descarce singur cînd este scos din circuitul de încărcare; 2) fenomenele din sistem să fie reversibile, adică să nu se producă în el schimbări care l-ar împiedica să funcționeze ca element electric secundar.

Un acumulator se caracterizează prin capacitatea sa și forța sa electromotoare. Capacitatea unui acumulator reprezintă cantitatea de electricitate pe care o poate debita acumulatorul pînă la limita permisă pentru descărcare. Capacitatea unui acumulator se exprimă printr-o unitate specială numită amper-oră; $1 \text{ amper-oră} = 3\,600 \text{ coulombi}$; astfel, un acumulator de 40 amperi-ore va putea debita un curent de un amper timp de 40 de ore, un curent de doi amperi timp de 20 de ore etc. Capacitatea acumulatorului depinde de mărimea și numărul plăcilor polare; ea variază cu regimul de descărcare și este mai mare în regim lent. De aceea este mai economic să luăm de la acumulatori un curent mai slab.

Acumulatorii sînt de mai multe feluri. Cei mai întrebuiți sînt acumulatorii acizi și acumulatorii alcalini.

Acumulatorul acid. Un element de acumulator acid este compus dintr-un vas paralelipipedic de sticlă, ebonită sau alte materiale sintetice, dielectrice și inatacabile de apă și de reactivii care intră în alcătuirea acumulatorilor; în acest vas se introduce o soluție apoasă de acid sulfuric cu densitatea 1,18. În soluție se introduc electrozii elementului, constituit fiecare din una sau mai multe plăci de plumb antimoniat (aliaj de plumb și antimoniu), care poartă, ca în niște faguri, substanța activă: oxizi de plumb amestecați cu diferite substanțe pentru cimentare. La început „se formează” acumulatorul, adică se încarcă și se descarcă de cîteva ori.

La încărcarea pentru funcționare, acumulatorul este un aparat de electroliză, cum am arătat, care descompune, în acest caz, apa. Hidrogenul care se degajează la catod reduce în plumb metalic oxidul de plumb aflat în ochiurile plăcii catodice; în același timp, oxigenul degajat la anod oxidează oxidul de plumb din plăcile anodice, în peroxid de plumb (fig. 381).

Pentru încărcarea unui element de acumulator avem nevoie de o forță electromotoare cel puțin egală cu tensiunea pe care o atinge acumulatorul la sfîrșitul încărcării. La un element de acumulator, este necesară pentru încărcare o tensiune de circa 2,5 V.

Legînd în serie un număr de n elemente de acumulator, obținem o baterie de acumulatori a cărei tensiune este de circa $2\,n$ volți. Pentru încărcarea unei baterii de acumulatori, alcătuită din n elemente, avem nevoie de cel puțin $2,5\,n$ V.

Încărcarea acumulatorilor se face, fie cu un curent continuu de la rețea, dacă localitatea este alimentată în curent continuu, fie cu un curent al-

ternativ de la rețea în localitățile alimentate cu un astfel de curent, însă numai după ce curentul alternativ a fost redresat cu ajutorul redresorilor cu seleniu, cuproxid etc.

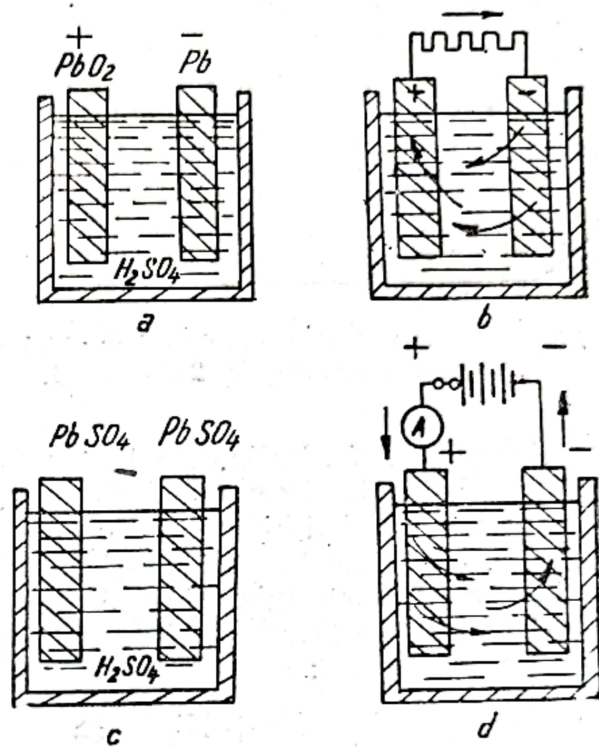
În circuitul de încărcare al acumulatorilor se introduce un ampermetru, izvorul de încărcare, un reostat și un întrerupător. Polul pozitiv al acumulatorului trebuie legat cu polul pozitiv al sursei de curent, adică se conectează acumulatorul la sursa de curent continuu, cu polii de același nume. În adevăr, la încărcare acumulatorul se comportă ca un voltmetru (electrolizor), așa că polul pozitiv al voltametruului este conectat la polul pozitiv al generatorului de curent. După ce s-au făcut conexiunile și circuitul este alcătuit, se închide întrerupătorul; curentul sursei externe circulă și încarcă acumulatorul; se manevrează reostatul din circuit până se obține intensitatea de curent necesară încărcării.

Cifra indicată pe acumulator de fabrica constructoare, pentru intensitatea curentului de încărcare, reprezintă a zecea parte din capacitatea acumulatorului; astfel, la un acumulator cu capacitatea de 48 amperi-ore, intensitatea curentului de încărcare trebuie să fie de 4,8 amperi. Acumulatorul se conservă mai bine dacă intensitatea curentului de încărcare este mai mică. În practică, se ia pentru curentul de încărcare o jumătate din intensitatea prescrisă de fabrică.

Sfârșitul încărcării (faptul că a reacționat toată masa activă a plăcilor) se cunoaște prin culoarea plăcilor; plăcile pozitive capătă o culoare brună, iar cele negative devin cenușii; degajarea bulelor de gaz devine foarte intensă, mai ales la plăcile negative.

Descărcarea acumulatorului este caracterizată de fenomene chimice, care se petrec în sens invers celor de la încărcare. Acumulatorul devine un element electric secundar, care dă curent. Plăcile sale fiind diferite și aflându-se într-un electrolit, produc o forță electromotoare.

Curentul care trece prin conductorul ce leagă bornele acumulatorului traversează și electrolitul, descompune apa acestuia; hidrogenul și oxigenul acționează, la fel ca la încărcare, asupra masei active a plăcilor de plumb. În electrolit, căderea de tensiune am văzut însă că are loc astfel încît electrodul care este în aer pozitiv este în electrolit negativ și invers; degajările de gaze se vor produce la polii opuși decît s-au produs la încărcare. Astfel are loc treptat depolarizarea electrozilor și elementul de acumulator furnizează curent pînă cînd ambii electrozi ajung la fel; în acest moment, curentul nu mai circulă, aparatul nu mai este un element electric secundar și debitarea curentului încetează.



a — acumulator încărcat; b — descărcarea acumulatorului; c — acumulator descărcat; d — încărcarea acumulatorului.

Fig. 381 — Acumulatorul cu acid.

La începutul descărcării, forța electromotoare scade brusc de la 2,7 la 2,1 V, iar apoi scade foarte încet de la 2,1 la 1,9 V, așa că se poate considera că rămâne mult timp constantă; la sfârșitul descărcării, forța electromotoare începe din nou să scadă. De obicei nu se lasă ca acumulatorul să se descarce sub 1,85 V, deoarece la o descărcare mai mare încep procese ireversibile, se formează sulfat de plumb (se sulfatează acumulatorul) și aparatul se strică.

Tensiunea la borne a fiecărui element de acumulator este de aproximativ 2,3 V, măsurată în timpul încărcării.

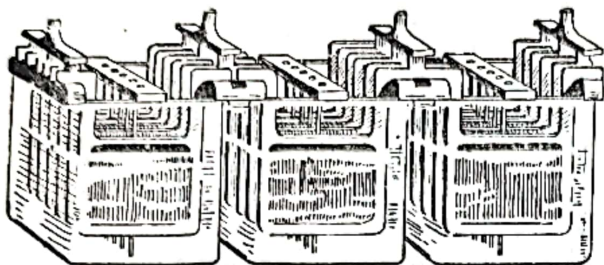
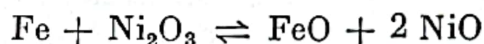


Fig. 382 — Baterie de acumulatori cu plăci de plumb și acid sulfuric 28° Baumé.

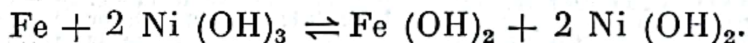
După terminarea încărcării, acumulatorul se lasă 8 — 10 ore în repaus și numai după aceea se utilizează, deoarece, pus la lucru imediat după încărcare, se descarcă mult mai repede. În timpul încărcării nu trebuie să lucrăm cu flacăra în apropierea acumulatorilor, deoarece hidrogenul degajat la electroliză se poate aprinde.

Acumulatorul alcalin. De la începutul secolului actual au început a fi utilizați, pe lângă acumulatorii acizi, și acumulatori alcalini. Ei au ca masă activă pozitivă hidroxidul de nichel, ca masă activă negativă, fierul spongios, iar ca electrolit o soluție de hidroxid de potasiu. Forța lor electromotoare este de aproximativ 1,5 V.

Reacțiile de încărcare și descărcare a acumulatorului se pot reprezenta schematic astfel:



sau



Avantajele acumulatorilor alcalini sînt inerția relativă a electrolitului, rezistența acumulatorului, suportarea unor suprasarcini și scurt-circuite, întreținerea ușoară și neprimejdioasă, funcționarea bună la temperaturi scăzute sau ridicate. Toate acestea au făcut ca acumulatorii alcalini să fie întrebuințați pe o scară din ce în ce mai mare.

Se construiesc în prezent baterii de acumulatori (fig. 382) de mare capacitate și care dau o forță electromotoare de sute de volți; locomotive electrice de mină, electrocare etc. sînt puse în mișcare de astfel de acumulatori.

În electrologia medicală, în cercetările de electrofiziologie, în laborator, în radiotehnică etc., acumulatorii au de asemenea întrebuințare, fiind generatori de curent continuu foarte prețuiți.

2. ELEMENTELE TERMOELECTRICE

S-a arătat într-un paragraf precedent că într-un circuit închis format din conductori diferiți, sudați, nu apare o forță electromotoare. Aceasta este valabil numai dacă temperatura contactelor dintre conductori este aceeași. Formînd un circuit prin sudarea a doi conductori și încălzind una din suduri, iar pe cealaltă lăsînd-o la temperatura obișnuită, în circuit trece un curent electric. Fenomenul este numit *efect termoelectric*. Forța electromotoare care apare în aceste condiții se numește forță termoelectromotoare.

Experiența și calculele arată că, variind temperaturile punctelor de sudură ale conductorilor metalici, apare o forță electromotoare E care este proporțională cu diferența dintre temperaturile T_1 și T_2 ale sudurilor. Valoarea forței electromotoare apărută este de ordinul sutimilor de milivolt pentru un grad. Uneori, relația dintre forța termoelectromotoare și diferența de temperatură care a produs-o are un caracter mai complicat. Teoria completă a fenomenelor termoelectromotoare poate fi tratată numai pe baza mecanicii cuantice.

a) **Termoelementele.** Efectul termoelectric este folosit la măsurarea temperaturilor foarte înalte și foarte joase. Pentru măsurarea temperaturii unui cup-tor sînt folosite elementele termoelectrice formate din două sîrme metalice; aceste termoelemente sau termocupluri au o forță termoelectromotoare determinată dinainte. Una din suduri este ținută în gheață care se topește, deci la 0° , iar cealaltă sudură se introduce în incinta a cărei temperatură trebuie măsurată (fig. 383). Forța electromotoare care apare în circuit se măsoară cu voltmetrul V și astfel se află diferența dintre cele două temperaturi $T - T_0$: cum T_0 este chiar 0° , diferența de temperaturi este temperatura căutată.

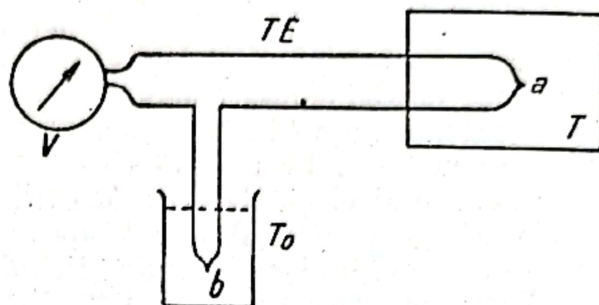


Fig. 383 — Măsurarea temperaturii cu elementul termoelectric.

Pentru un element termoelectric anumit, format din două metale date, voltmetrul poate fi etalonat direct în grade. Pentru temperaturi nu prea ridicate, sînt utilizate termocupluri din constantan-cupru și constantan-fier, iar pentru măsurarea temperaturilor înalte din uzine și laboratoare, termocuplurile sînt făcute din doi conductori de metal greu fuzibil, unul de platină, iar celălalt dintr-un aliaj de 90% platină și 10% rodiiu.

Pentru observarea temperaturilor foarte mici, se montează în serie un număr de termocupluri, formînd astfel o pilă termoelectrică; în această pilă, toate sudurile pare se încălzesc, iar toate cele impare se răcesc. Se pot măsura astfel temperaturi foarte mici. La unele din modelele mai perfecționate de termocupluri utilizate în vid, o forță electromotoare de un microvolt corespunde unei puteri de radiație de 0,5 ergi/s.

b) **Acul termoelectric** a fost menționat la descrierea termometrelor; el este un termoelement întrebuițat în cercetările de fiziologie. Este constituit dintr-un tub subțire de nichel, în formă de ac de seringă, umplut cu o substanță dielectrică. În axa tubului, înconjurat de substanța electroizolantă, se află un fir de fier foarte subțire, sudat la teaca de nichel cu una din extremități. Pentru a lua temperatura unui țesut, se introduce acul termoelectric în regiunea aleasă, iar alt ac similar, legat cu primul în serie, se ține într-un vas, a cărui temperatură se urmărește cu un termometru foarte sensibil. Cînd cele două ace legate între ele se găsesc cu sudurile la temperaturi diferite, galvanometrul indică trecerea unui curent. Încălzind sau răcind încet vasul cu apă pînă ce acul galvanometrului nu mai deviază, temperatura apei va fi egală cu cea a țesutului, așa că termometrul din apă va arăta o temperatură egală cu cea a țesutului studiat.

3. EFECTUL TERMoeLECTRONIC

Un conductor cuprinde totdeauna electroni liberi, care au o mișcare dezordonată, de natură termică, în interiorul lui, dar care nu-l pot părăsi în condițiile obișnuite. Smulgerea acestor electroni din metal și trimiterea lor în exterior cere un lucru mecanic de extragere, care se măsoară în electron-volți (eV).

La temperatura obișnuită, numai o parte neînsemnată a electronilor din interiorul metalului au suficientă energie cinetică, adică sînt destul de rapizi pentru ca să-i putem extrage efectuînd lucrul mecanic menționat.

Dacă încălzim însă conductorul, electronii liberi capătă viteze din ce în ce mai mari, așa că la un moment dat unii din ei părăsesc mai ușor conductorul metalic. Pe măsură ce crește temperatura, numărul electronilor rapizi crește și el și, datorită acestui fapt, crește și numărul electronilor smulși din conductor. Procesul este analog celui de plecare — prin evaporare — a moleculelor dintr-un lichid încălzit.

Pentru diferitele metale, lucrul mecanic de extragere are valori între 1 eV și 4,5 eV, ceea ce conduce la necesitatea unei temperaturi de 15 000°K pentru ca vitezele medii ale electronilor să fie suficiente pentru ieșirea electronilor din metal. De fapt, electronii încep să iasă în conductor, în cantități mari, chiar la temperaturi mai mici, începînd de la 1 000—3 000°K; aceasta se datorește faptului că o parte din marea masă de electroni au energii mult mai mari decît energia medie așa că, datorită lor, emisiunea de electroni din conductor poate începe mai repede.

Creînd un cîmp exterior în apropierea conductorului metalic incandescent prin așezarea unei plăci puternic încărcată pozitiv, electronii extrași și aflați în jurul conductorului vor fi accelerați și se vor îndrepta spre placa pozitivă, cu o mișcare de ansamblu; acest flux de electroni nu este altceva decît un curent electric. Formarea unui astfel de curent are loc mai ușor în absența aerului, căci în vid se produc puține ciocniri cu moleculele sau cu atomii gazoși rămași în recipient, și deci mișcarea electronilor nu este stînjinită.

Procesul descris se numește *efect termoelectronic* sau *efect Edison*.

Efectul termoelectronic poate fi studiat mai ușor cu un tub cu doi electrozi (fig. 384) din care s-a scos aerul. Catodul este un filament, o spirală, care se poate încălzi cu ajutorul unui circuit de tensiune mică, iar circuitul bateriei B, la al cărei anod este conectată placa (numită placa anodică), creează un cîmp electrostatic în tub, între catod și anod, și accelerează electronii ce se desprind din catodul incandescent; electronii accelerați traversează spațiul vid dintre catodul și anodul tubului și închid circuitul anodic.

Ampermetrul A măsoară intensitatea curentului care apare în circuit, iar voltmetrul V măsoară diferența de potențial dintre anodul și catodul tubului electronic cu doi electrozi.

Experiența arată că intensitatea în circuitul tubului este zero cînd filamentul catodic al tubului nu este încălzit și că, de îndată ce începe încălzirea, începe și

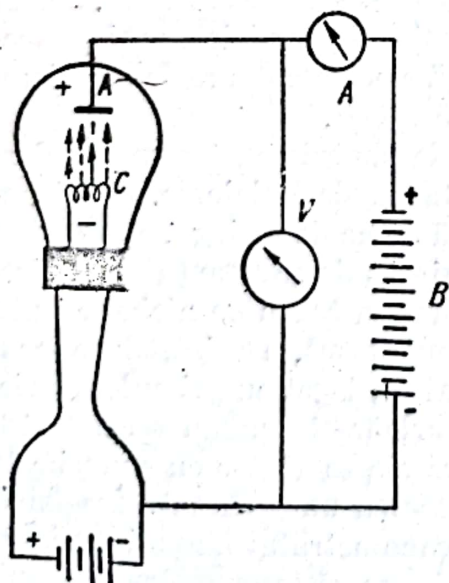


Fig. 384—Efectul termoelectronic.

emisiunea de electroni; în acest caz, intensitatea curentului care trece prin tub, curentul anodic, depinde de temperatura catodului și de diferența de potențial $V_1 - V_2$ dintre catodul și anodul tubului. Dacă menținem constantă temperatura catodului prin alimentarea lui cu un curent anumit, obținut de la bateria de încălzire, intensitatea curentului anodic crește numai cu creșterea diferenței de potențial. Această variație are loc însă în mod caracteristic; la început, intensitatea crește încet, pe urmă mai repede și apoi din nou încet. Pentru o anumită valoare a diferenței de potențial

$$V_1 - V_2 = V_s$$

creșterea încetează complet, intensitatea curentului ajungând la saturație.

Graficul din fig. 385 redă această dependență a intensității I_A a circuitului anodic de diferența de potențial $V_1 - V_2$.

Fenomenul se poate explica astfel: cînd diferența de potențial este zero, curentul nu trece din cauză că electronii ieșiți din catod, datorită temperaturii ridicate, formează în jurul lui un nor electronic care creează un câmp de frînare pentru electronii ce ar mai ieși din catod; emisiunea încetează din cauză că tot atîți electroni cîți ies din metal din cauza încălzirii se reîntorc sub acțiunea câmpului contrar, al norului electronic.

Dacă se produce însă o diferență de potențial cu ajutorul bateriei anodice, se creează, între cei doi electrozi ai tubului, un câmp care accelerează electronii; în acest caz, norul electronic se dispersează și electronii încep să circule, prin vid, în tub, între catod și anod, dînd naștere „curentului electric“.

Calculule teoretice arată că intensitatea circuitului anodic I_A este proporțională cu puterea $3/2$ a diferenței de potențial

$$I_A = \alpha(V_1 - V_2)^{3/2}.$$

Această relație, numită formula Boguslavski-Langmuir, cuprinde un coeficient α care depinde de forma și așezarea electrozilor.

În fine, cînd diferența de potențial atinge valoarea V_s , suficient de mare pentru a atrage de la catod toți electronii emiși, curentul nu mai crește, și ajungem la *curentul de saturație* I_s , căruia îi corespunde partea constantă, orizontală, a graficului.

Valoarea curentului de saturație I_s este egală cu cea a sarcinilor tuturor electronilor emiși de catodul respectiv, în unitatea de timp, la temperatura dată. Însemnînd cu n numărul acestor electroni, avem

$$I_s = ne, \text{ de unde } n = \frac{I_s}{e},$$

e fiind sarcina electronului.

Această din urmă formulă arată că curentul de saturație I_s măsoară numărul electronilor emiși pe secundă de conductorul metalic incandescent.

Experiența arată că intensitatea curentului de saturație I_s crește foarte repede dacă mărim temperatura filamentului catodic.

Efectul termoelectronic stă la baza întregii tehnici electronice: pe principiul emisiunii electronice sînt construite tuburile catodice, lămpile de radio, tuburile moderne de raze Röntgen, supapele kenotron, oscilografele

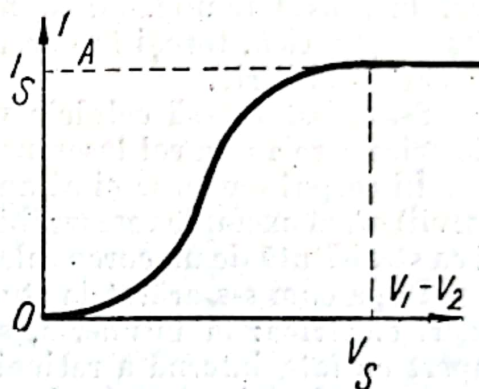


Fig. 385 — Dependenta curentului I_A din circuitul anodic, de diferența de potențial $V_1 - V_2$.

catodice, microscopul electronic și alte nenumărate și variate tuburi electronice folosite în radiotehnică, în telemecanizare, control și măsură, în diatermie și unde ultracurte, în aparate de unde ultrasonore etc.

Expunerea principiului de funcționare a tubului cu doi electrozi arată cum se poate conduce emisiunea de electroni mînuind cele două elemente caracteristice: temperatura catodului și diferența de potențial dintre electrozii tubului.

C. ELECTROGENEZA BIOLOGICĂ

Deși organismele sau organele care produc electricitate nu sînt generatori în sensul tehnic, adică nu produc curent electric care poate fi utilizat în practică, totuși în sensul științific sînt adevărați generatori biologici de curent electric.

S-a constatat că celulele vegetale și animale sînt sediul unor acțiuni electrice care au un rol însemnat mai ales în momentul diviziunii.

În corpul omenesc și al animalelor superioare, cîteva organe (mușchii, nervii) oferă exemple remarcabile de producere de curent electric. Pielea este și ea străbătută de un curent electric, care circulă de la exterior spre interior.

După cum s-a arătat la studiul ochiului, retina prezintă interesante însușiri electrice: la întuneric, suprafața coroidelor este încărcată negativ în raport cu fața internă a retinei; dacă se iluminează retina, se produc fenomene electrice în tot timpul acțiunii luminii.

a) **Organe electrice.** Există o serie de plante și de animale care au organe specializate, ce produc curent electric biologic. Astfel, „planta electrică” din India electrocutează pe cel ce o atinge și, întocmai ca și curentul electric produs de generatori tehnici, influențează un ac magnetic, schimbîndu-i poziția. Insectele electrice, care trăiesc în Africa, produc o descărcare electrică la atingerea lor. În Brazilia trăiește o omidă, la atingerea căreia comoția este atît de puternică încît paralizează mîna pentru cîtăva vreme.

Cele mai cunoscute animale producătoare de curent electric sînt însă peștii electrice. În Nil și în Amazon trăiesc unele specii de pești din familia siluriilor: torpilele, gimnoții și malapterurile, care produc curent electric. În antichitate, egiptenii și romanii foloseau, în tratamentul anumitor boli, însușirea pe care o au acești pești de a provoca, la atingere, zguduiri violente. Aristotel și Pliniu au descris peștele numit astăzi torpila electrică, care-și ucide prada electrocutînd-o cu o puternică descărcare electrică.

La aceste animale, descărcările electrice sînt date de diferența de potențial care ia naștere la extremitățile unui organ specializat numit organ electric. Acesta este alcătuit dintr-un țesut muscular transformat, în care curentul de acțiune, pe care-l vom studia mai departe, a căpătat o intensitate mare, în dauna însușirii mușchiului de a efectua lucru mecanic.

La torpila electrică, organul electric este alcătuit din numeroase prisme hexagonale așezate perpendicular pe suprafața corpului. În afară, curentul biologic circulă, la acest animal, de la suprafața dorsală spre cea ventrală; fenomenul este condus de un centru nervos numit lob electric. La gimnot (fig. 386), curentul circulă de la cap spre coadă.



Fig. 386 — *Gymnotus electricus*

Curentul produs de torpilă, gimnot și malapterură poate avea între 1 și 7 amperi și între 8 și 17 volți, așa că ar putea alimenta mai multe lămpi electrice. Acești pești se servesc de organele lor electrice pentru a se apăra sau a ataca. Se cunosc numeroase cazuri când animale și oameni au fost electrocuțați în apă de acești pești, unele electrocutări fiind chiar mortale.

b) **Curenții produși de mușchi.** Modificările, care au loc într-un țesut dau naștere unui curent electric. Dintre aceste modificări care produc curent electric, cea mai frecventă este contracția musculară. Acești curenți sînt de două feluri: curenți de repaus și curenți de acțiune.

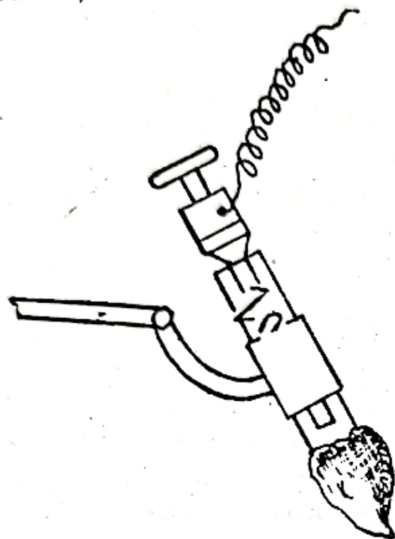


Fig. 387—Electrod nepolarizabil (DuBoisReymond) de zinc în $ZnSO_4$, capătul de tifon înmuiat în soluție de $NaCl$ 7‰.

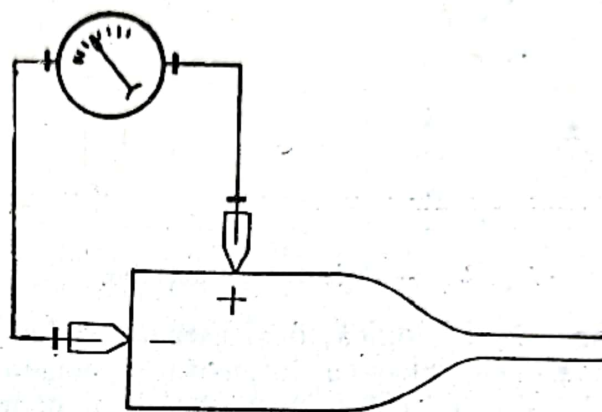


Fig. 388 — Curentul de repaus.

Curenții de repaus. Curenții de repaus se pot pune în evidență la mușchi și la nervi. Dacă aplicăm pe un mușchi intact sau pe un nerv intact doi electrozi nepolarizabili (fig. 387) (formați ca o jumătate de element electric Daniell), conectați în circuitul unui galvanometru sensibil (milivoltmetru), acesta nu indică existența vreunui curent. Dacă însă producem o leziune sub unul din electrozi sau în apropierea lui, galvanometrul deviază; electrodul așezat pe leziune sau în apropierea ei se comportă ca pol negativ, iar celălalt electrod ca pol pozitiv.

Diferența maximă de potențial se obține dacă așezăm un electrod la mijlocul suprafeței laterale a mușchiului, iar celălalt electrod în mijlocul leziunii sau secțiunii (fig. 388). Valoarea tensiunii poate atinge în acest caz chiar 0,1 V.

Exercitînd o tracțiune mecanică asupra mușchiului, intensitatea curentului de repaus crește; această variație a fost numită *variația pozitivă* a curentului de repaus.

Nervii manifestă proprietăți electrice asemănătoare, însă într-un grad mai mic.

Curenții de acțiune. Dacă un mușchi sau un nerv este în repaus și intact, circuitul de explorare descris mai sus nu arată existența nici unui curent electric. Dacă excităm mușchiul sau nervul pe cale electrică (cu ajutorul unei bobine de inducție), pe cale mecanică, chimică sau fiziologică (contracție), galvanometrul deviază, arătînd astfel existența unui curent de acțiune (fig. 389). Și în acest caz, polul negativ îl constituie electrodul cel mai apropiat de regiunea unde se produce excitația.

Dacă se suprapune curentul de acțiune peste curentul de repaus astfel ca peste polul pozitiv al curentului de repaus să se suprapună polul ne-

gativ al curentului de acțiune, se produce o slăbire a curentului de repaus observat inițial: galvanometrul își micșorează deviația. Fiziologul DuBois-Reymond a numit acest fenomen *variația negativă* a curentului de repaus.

S-au formulat numeroase teorii în privința producerii curenților de repaus și a celor de acțiune: teoria variației suprafețelor de contact aflate în interiorul organismului, enunțată de d'Arsonval, teoria leziunii a lui Hermann, teoria ionică a lui Bernstein, teoria depolarizării etc. Ele au căutat să descopere mecanismul de producere a curenților biologici. Aceste cercetări, studii și dezvoltarea teoriilor sînt de un interes deosebit pentru

electrofiziologie; ele ies însă din cadrul problemelor de fizică medicală.

c) **Fenomene electrice în scoarța cerebrală.** O atenție deosebită este îndreptată în ultimul timp asupra metodei de înregistrare a potențialelor electrice care apar în scoarța cerebrală. Prin natura lor, aceste fenomene sînt din categoria celor de elec-

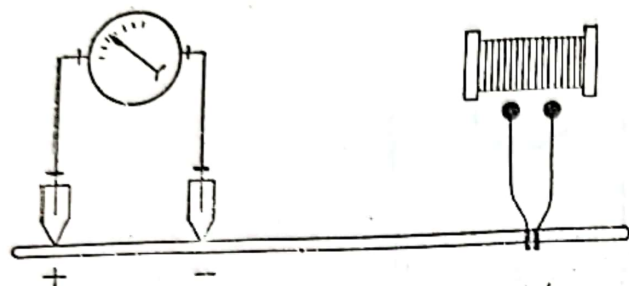


Fig. 389 — Curentul de acțiune.

trogeneză biologică, deși caracterul lor de oscilație le deosebește de fenomenele electrice cu intensitatea constantă examinate în acest capitol.

Caton (1874) a încercat pentru prima dată să înregistreze cu ajutorul galvanometrului curenții scoarței cerebrale la iepurii de casă și la maimuțe. Cu aceeași metodă au lucrat o serie de cercetători ruși de la sfîrșitul secolului trecut și începutul celui actual: Secenov, Danilevski, Mislavski, Verigo.

Pentru înregistrarea fenomenelor electrice din scoarță, Pravdici-Neminski au folosit pentru prima oară galvanometrul cu coardă, obținînd o curbă complexă, numită electroencefalogramă, care caracterizează procesele electrice din scoarță (1913, 1925). Aceste cercetări au căpătat un interes deosebit după apariția lucrărilor lui Hans Berger, care a reușit să înregistreze curenții ce se produc în scoarța cerebrală a omului.

Berger a așezat electrozii în regiunea occipitală și i-a legat de un oscilograf catodic prin mijlocirea unui amplificator cu tuburi electronice.

Datele mai importante obținute în acest domeniu sînt prezentate în cele ce urmează:

În diferitele sectoare ale sistemului nervos central se produc oscilații electrice spontane care nu sînt determinate de acțiunea unor excitații exterioare. Ele au fost constatate pentru prima oară de Secenov (1882) în creierul de broască.

Aceste fenomene electrice se manifestă clar la om în toate sectoarele sistemului nervos central, și îndeosebi în scoarța cerebrală.

La interpretarea electroencefalogramei umane, cu toată complexitatea curbei, se disting trei tipuri de oscilații, ce se deosebesc prin frecvență și amplitudine: oscilațiile α sau ritmul Berger, caracterizate printr-o frecvență de 10 Hz; oscilațiile β cu frecvența de 17 — 50 Hz, și oscilațiile δ , de frecvența cea mai mică. Amplitudinea cea mai mare o au oscilațiile α , iar cea mai mică oscilațiile δ . La omul în repaus și în întuneric, oscilațiile δ manifestă o constanță remarcabilă.

Oscilațiile lente se manifestă și în scoarța cerebrală a iepurelui de casă, la ciini, maimuțe, deosebindu-se, la diferite specii, printr-o constanță mai mare sau mai mică în diversele momente și în diversele sectoare ale

scoarței. Stabilitatea și uniformitatea acestui proces electric se manifestă mai bine la om (Beritov). Oscilațiile β au o amplitudine mai mică și sînt mai puțin constante în comparație cu cele α .

Activitatea electrică a scoarței variază cu diferitele stări funcționale. Legătura dintre activitatea electrică a scoarței și starea ei activă este deosebit de clară în cazul unei excitații luminoase ritmice; cu creșterea frecvenței acestei excitații se observă că, pînă la o anumită limită, numărul oscilațiilor lente crește.

Apariția excitației în scoarță, se observă la om în accesele epileptice. Modificările scoarței în timpul accesului convulsiv se pot urmări prin metoda electroencefalografică. Cercetători romîni (acad. A. Kreindler și colab.) au înregistrat nu numai activitatea electrică a scoarței cerebrale ci au realizat o electro-cerebrogramă, înregistrînd și curenții bioelectrici din formațiunile subcorticale.

S-a arătat că aplicarea pe suprafața substanței cerebrale a unei soluții izotonice de KCl suprimă biocurenții scoarței; aceștia apar din nou prin spălare cu o soluție izotonică de CaCl_2 . Aflarea mai îndelungată a subiectului în întineric reduce activitatea electrică a scoarței cerebrale.

Activitatea electrică a sistemului nervos central este expresia proceselor de excitare din nenumăratele celule nervoase, dentrite și axoni. Aceste procese de electrogeneză biologică sînt complicate și se află încă în studiu.

D. EFECTELE FIZICO-CHIMICE ALE CURENTULUI CONTINUU

1. ELECTROLIZA

La trecerea curentului electric printr-o soluție de acid, bază sau sare, aceste substanțe se descompun. Fenomenul este cunoscut sub numele de electroliză.

Solvenții obișnuiți, cum sînt apa foarte curată, benzenul, alcoolul etc., nu conduc practic curentul. Ei devin conductori prin dizolvarea unor substanțe numite *electrolite*.

Experiența arată că prin simpla dizolvare, topire, dispersare, trecere în formă de gaz etc., un electrolit se disociază în atomi sau grupe de atomi, care poartă sarcini electrice; aceste particule au fost numite *ioni*.

Pregătită printr-o seamă de lucrări remarcabile ale lui F. I. Grothus (1805), R. E. Lenz (1878). N. N. Kaiander (1881), teoria disociației electrolitice a fost formulată de Svante Arrhenius în 1887.

Soluția de electrolit, spre deosebire de solventul pur, conduce curentul electric; această însușire se numește conductibilitate electrolitică. Soluțiile electrolitice, numite mai simplu electrolite, sînt — după cum am arătat — conductori de categoria a doua. Curentul din electrolit este datorit mișcării ionilor sub influența cîmpului electric exterior, produs de generatorul de curent continuu, la care am conectat cei doi electrozi: anodul și catodul.

a) **Legile calitative ale electrolizei.** La electroliză se constată, atît fenomene calitative, cît și cantitative. Din punct de vedere calitativ, experiența arată existența a două fenomene mai însemnate:

La electroliză, hidrogenul și metalele din molecula electrolitului apar numai la catod, unde se descarcă și se depun, se degajează ori intră în reacții secundare; restul moleculei electrolitului apare la anod. De aici rezultă că hidrogenul, metalele, cum și unii radicali (NH_4), au, sub formă de ioni, sarcini pozitive (cationi), iar metaloidele și unii radicali (SO_4) au sarcini negative (anioni).

Substanțele rezultate prin electroliză apar numai la electrozi, iar nu și în spațiul intermediar. Acest fenomen arată că transformarea ionilor în atomi, prin neutralizarea sarcinilor electrice, pe care ionii le poartă, este localizată numai la electrozi și se face sub acțiunea lor. În restul soluției de electrolit, ionii se mențin ca atare, nu numai când nu circulă curentul, ci și atunci când trece curentul electric prin electrolit. Prin disociație electrolitică, ionii sînt distribuiți uniform în soluție, iar mișcarea lor este dezordonată. Când se aplică diferența de potențial la electrozi, ionii capătă o mișcare dirijată; are loc o migrație a ionilor spre electrozii de semn contrar.

b) **Legile cantitative ale electrolizei** poartă numele lui M. Faraday (1791 — 1867), care le-a descoperit și studiat.

1. Prima lege se poate enunța astfel: masa de substanță depusă la electrozi este proporțională cu cantitatea de electricitate Q care a trecut prin electrolit, adică cu intensitatea curentului și cu timpul ($Q = It$). Această lege se poate reda prin expresia

$$M = k \cdot Q,$$

unde k este un coeficient care ia numele de echivalentul electrochimic al substanței ce se depune. Dacă se dă lui Q valoarea 1, atunci $M = k$: echivalentul electrochimic este numeric egal cu masa de substanță care se depune la trecerea prin electrolit a unei unități de cantitate de electricitate.

2. Legea a doua determină valoarea acestui echivalent electrochimic: echivalenții electrochimici k ai elementelor sînt proporționali cu echivalenții chimici ai acestora. Cu alte cuvinte, cantitatea de electricitate care depune un atom-gram de element cu valența n este de n ori mai mare decît cea care depune un atom-gram de element monovalent.

$$k = C \cdot \frac{A}{n}$$

unde C este un coeficient de proporționalitate, A = greutatea atomică luată în grame și n = numărul valențelor elementului considerat; în acest caz, A/n se numește un echivalent-gram. În locul coeficientului C se introduce valoarea inversă $\frac{1}{F}$, și în acest caz legea a doua devine:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n},$$

unde F se numește *numărul lui Faraday*.

Prin numeroase măsurări de echivalenți electrochimici, s-a stabilit valoarea numărului lui Faraday, care este:

$$F = 96\,494 \text{ coulombi/echivalent-gram.}$$

Electroliza are o deosebită importanță pentru cercetarea științifică (teoria electronică a putut fi stabilită pe baza legilor lui Faraday), pentru industrie (uriașele cantități de aluminiu, cupru electrolitic etc. se produc pe cale electrolitică), pentru medicină (aplicații terapeutice), pentru artă (galvanoplastie) etc.

2. ELECTROLIZA BIOLOGICĂ

Electroliza biologică constă din totalitatea fenomenelor electrolitice care se produc la trecerea unui curent electric prin organism. Celulele pot fi asemănate cu mici electrolizoare, care cuprind o soluție conducătoare de NaCl.

Dacă o parte din corp este străbătută de un curent electric continuu, efectele electrolizei se manifestă la cei doi electrozi.

Electroliza biologică se poate face prin *aplicație monopolară*. În acest caz se folosesc efectele electrolitice ce se produc la un singur electrod, care primește în acest caz numele de *electrod activ*. Electrocul al doilea servește numai la stabilirea circuitului și este inactiv din punctul de vedere al efectului electrolizei biologice; el se numește *electrod inactiv*. Se poate face aplicația electrolitică *bipolară*, în care caz ambii electrozi sînt activi.

Activitatea electrodului depinde de cantitatea de curent pe care o poate furniza pe suprafața aplicată; se obține o activitate mai mare a electrodului dîndu-i-se o formă cît mai mică cu putință pentru aplicarea urmărită; în acest caz, densitatea curentului, adică cantitatea de curent pe unitatea de suprafață, este foarte mare, pe cînd, la un electrod de suprafață mare, densitatea de curent este foarte mică.

Cercetînd fenomenele care au loc în organism în vecinătatea electrozilor, se observă că, în cazul a două ace de platină introduse sub piele și conectate la polii unei baterii galvanice sau ai unui acumulator, la trecerea curentului electric se produce electroliza soluțiilor biologice, care modifică structura țesuturilor de la electrozi.

Efectele fizico-chimice care au loc constau din acumularea și descărcarea anionilor la anod și a cationilor la catod. Clorura de sodiu, care este electrolitul cel mai însemnat din organism, se află disociată în ioni Na^+ și Cl^- . La trecerea curentului electric, ioni Na^+ se acumulează, la catod. Prin neutralizarea sarcinii lor electrice, acești ioni, care nu au nici un fel de efect asupra țesuturilor, devin atomi de sodiu, care în contact cu apa din țesutul catodic trece în hidroxid de sodiu (sodă caustică NaOH) și hidrogen ($2 \text{Na} + \text{H}_2\text{O} = 2 \text{NaOH} + \text{H}_2$).

În același timp, ioni Cl^- se adună la anod, unde, pierzînd sarcina electrică, formează cu apa de la anod acid clorhidric și degajează oxigen ($2 \text{Cl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} = 4 \text{HCl} + \text{O}_2$).

Așadar, în regiunea catodului acționează o bază (NaOH), iar în regiunea anodului un acid (HCl). La polul pozitiv se formează, în jurul acului introdus, o zonă circulară de culoare închisă, de unde apar un lichid incolor și cîteva bule de gaz galben-verzui (clorul). În jurul electrodului negativ, zona este mai cenușie, mai puțin întinsă și apare un lichid incolor, spumos, conținînd bule de hidrogen care ies din înțepătură.

După cîteva zile se formează escare în zona de înfigere a acelor, apoi aceste escare se elimină sau se resorb, lăsînd cicatrice: cea negativă mai întinsă, mai moale și mai puțin retractilă decît cea pozitivă.

Trecînd un curent de 30 mA timp de cîteva minute, se pot produce și pune în evidență cele două leziuni polare caracteristice.

Electroliza singelui se poate face folosînd de asemenea doi electrozi în formă de ace. Se obține la anod un cheag voluminos și aderent, iar la catod un cheag mai puțin voluminos, moale și puțin aderent. Deosebirile sînt datorite faptului că clorul degajat la anod coagulează albumina: cheagurile sînt formate din proteine coagulate, fibrină și eritrocite alterate.

Deosebirile dintre cele două cheaguri pot fi puse în evidență experimental electrolizînd sîngele defibrinat într-un electrolizor de formă specială.

3. APLICAȚIILE MEDICALE ALE ELECTROLIZEI

Utilizând electrozi inatacabili, insolubili, de platină, nichel sau cărbune, se fac o serie de aplicații de electroliză medicală.

Se distrug cu ușurință țesuturile în contact cu electrodul activ prin reacțiile secundare amintite. Metoda ia uneori numele de *galvanocaustică chimică*.

Se tratează pe această cale angioamele, negii, folosind drept electrod negativ ace de aur, de platină sau de oțel inoxidabil. Intensitatea atinge 15—20 mA și durata de aplicație este de 30 — 120 s.

Mult timp s-au tratat prin această metodă aneurismele cirsoide, introducându-se în punca aneurismală un ac de platină sau de oțel și lăsând să treacă un curent de 30 mA timp de 30 — 60 s. Ședințele erau repetate după 10 zile.

Folosind drept electrozi sonde speciale, se pot trata scurtările esofagului, stricturile esofagiene și uretrale; se produce o escară moale, care lasă o cicatrice puțin retractilă.

Folosind electrodul activ drept anod, se pot trata hemoragiile uterine mai ales în caz de fibrom, hemoragii oprite de acțiunea hemostatică a reacției secundare, care se produce la polul pozitiv. În acest caz, electrodul are forma adecvată, adică este format dintr-o sondă de platină, de nichel sau chiar de cărbune, care se introduce în cavitatea uterină; partea care în timpul electrolizei rămâne în vagin este izolată. Drept electrod indiferent se întrebuințează o placă întinsă, de suprafață mare, aplicată pe abdomen.

Între cei doi electrozi, aflându-se un țesut format din celulă, fiecare din ele are rolul de electrolizor.

De aceea, în afară de fenomenele care apar la electrozi în timpul electrolizei biologice, curentul electric provoacă și o acțiune profundă, numită *electroliză interstițială*; dacă trecerea curentului se face timp mai îndelungat, aceasta poate produce o alterare a țesuturilor, cu leziuni vizibile la microscop.

Un alt procedeu de electroliză medicală este cel al folosirii electrozilor solubili. În anumite cazuri sînt utilizați electrozi solubili de fier, cupru, zinc, argint, care sînt atacați de substanțele depuse la electrozi și dau astfel substanțe noi, cu proprietăți terapeutice speciale. Folosind de exemplu un anod de fier, ionul clor, care se eliberează sub forma de atom la anod, formează clorura ferică, care are o accentuată acțiune coagulantă. Aneurismele sînt tratate cu un anod solubil de fier, provocându-se astfel formarea unui cheag care umple complet sacul aneurismal. Electrozii de cupru, zinc sau argint dau cloruri cu proprietăți antiseptice și caustice, utilizate în tratamentul furunculelor etc.

4. PĂTRUNDEREA ELECTROLITICĂ A SUBSTANȚELOR ÎN ORGANISM

Fenomenele de electroliză și de antrenare care au loc în electrolitele străbătute de curentul continuu pot produce schimburi între lichidele de la electrozi și lichidele din organism. Datorită acestor schimburi se pot introduce pe cale electrolitică — în scop terapeutic — anumite substanțe în organism.

Pentru ca ionii pozitivi să ajungă la catod și cei negativi la anod, ei trebuie să pătrundă în organism și să străbată o porțiune anumită din organism pentru a asigura circulația curentului. Se dau exemple clasice de pătrundere a ionilor în organism.

Experiența lui Enschedé este una din aceste experiențe directe: se introduc membrele anterioare ale unei broaște într-o capsulă cu apă obișnuită,

iar cele posterioare într-o capsulă cu o soluție de iodură de potasiu (KI). Anodul se introduce în capsula cu apă, iar catodul în cea cu KI. În electrolizorul astfel obținut, corpul broaștei stabilește legătura dintre regiunea anodică și cea catodică. Pentru a urmări mersul electrolizei se atașează de anod un cartof. Închizând circuitul, se constată că pe cartof apar câteva puncte albastre, în regiunea de contact al acestuia cu electrodul pozitiv, ceea ce arată că din iodura de potasiu aflată la catod, îndată ce începe să circule curentul, ionii de iod străbat corpul broaștei și se descarcă la anod, unde, transformați în atomi de iod, dau cu amidonul din cartof reacția de culoare caracteristică albastră-violetă.

Experiența lui Leduc a pus de asemenea în evidență acest efect al curentului continuu. Introducând într-un circuit de curent continuu doi iepuri, după ce în prealabil au fost epilați în regiunea de contact cu electrozii, se interpune între cele două animale un corp spongios *C* (fig. 390), care se îmbibă cu o substanță foarte toxică; anodul și catodul, de asemenea spongioși și umeziți cu o soluție de clorură de sodiu, se pun în contact, fiecare cu câte unul din cei doi iepuri.

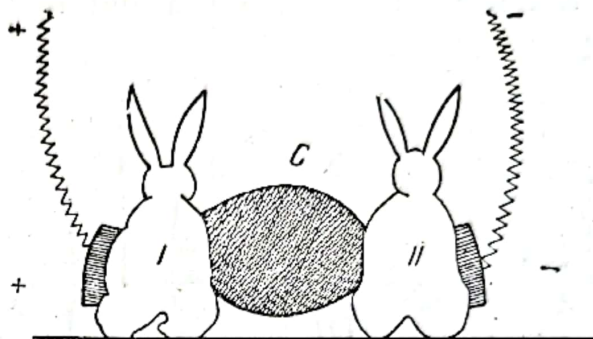


Fig. 390 — Pătrunderea electrolitică a substanțelor în organism (experiența lui Leduc).

Dacă se îmbibă corpul spongios *C* cu o soluție de CNH, în care anionul CN^- este toxic, acesta va trece spre iepurele pe care este aplicat anodul, și acest iepure va muri otrăvit. Dacă însă substanța spongioasă *C* dintre iepuri este imbibată cu sulfat de stricnină, în care cationul stricnină este cel toxic, acesta va migra la catod, la trecerea curentului, și iepurele pe care este aplicat catodul va fi otrăvit.

Ionii nu pătrund uniform în organism prin toate punctele suprafeței în contact cu electrozii. Lucrând la catod cu o soluție de permanganat de potasiu și închizând circuitul, pielea se colorează puternic numai în dreptul orificiilor glandulare; aceasta arată că principalele căi de acces ale ionilor sînt canalele glandulare ale pielii, în care se află lichide conductoare. După ce au pătruns prin canalele glandulare în piele și au străbătut epidermul, ionii întîmpină rezistențe diferite, își modifică drumul, așa că foarte puțini din ei își pot continua drumul mai repede pentru a ajunge la electrodul de semn contrar. O parte din ioni sînt antrenați de torentul sanguin și de cel limfatic și trec apoi în urină și în salivă, unde pot fi identificați cu ușurință.

Astfel, dacă se folosește drept anod o baie electrolitică conținînd o soluție de sare de litiu, ionul litiu pătrunde prin piele și prezența sa poate fi constatată în urină; catodul — electrod indiferent — este aplicat pe corp.

Antrenarea ionilor de către circulația lichidelor din organism se poate verifica *in vitro* prin experiența lui Schatzki.

Se folosesc doi cartofi (fig. 391) legați între ei prin tubul cu apă *AB*; se înfige în fiecare cartof câte un electrod în formă de ac. În jurul electrodului negativ, într-o scobitură, se toarnă puțină soluție de KI. Cîtva timp după ce începe să circule curentul, apare pe cartoful în care se află electrodul pozitiv colorația albastră a iodurii de amidon; ionul I^- a migrat deci de la catod la anod, traversînd tubul cu apă *AB*. Dacă acest tub este străbătut perpendicular de un altul *CD*, prin care circulă un curent de apă,

închizînd circuitul nu se mai obţine de astădată coloraţia albastră caracteristică a amidonului venit în contact cu iodul, fiindcă ionii I^- au fost antrenaţi de curentul de apă.

La fel se întîmplă şi în regiunile mai profunde ale pielii, unde sîngele din reţeaua de capilare antrenează ionii introduşi pe cale electrolitică şi-i răspîndeşte în tot corpul.

Uneori se poate produce o descărcare a ionilor înainte de ajungerea lor la electrozi, contrar legii arătate, care cere descărcarea numai la electrozi. Aceasta depinde de mediul străbătut. Fenomenul se poate verifica în modul următor.

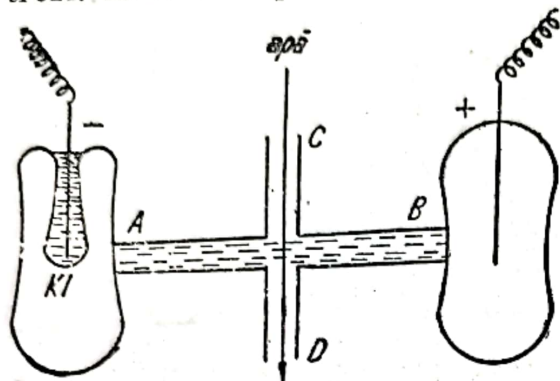


Fig. 391—Antrenarea ionilor prin circulaţia lichidului (experienţa lui Schatzky).

Într-un tub se introduc straturi succesive de gelatină cu conductibilitate electrică diferită. Se impregnează gelatina cu tinctură de turnesol şi se trece un curent electric continuu prin tub. După cîtva timp, suprafeţele de separare a diferitelor straturi de gelatină prezintă pe de o parte culoarea roşie, pe de alta culoarea albastră. Această experienţă făcută de Weiss arată că, în diferitele straturi, ionii s-au descărcat, trecînd în stare de atomi

neutri; cei cu caracter acid au înroşit tinctura de turnesol, iar cei cu caracter bazic au înălbăstrit-o.

Rezultă de aici că la o schimbare de mediu se poate produce o descărcare a ionilor ca şi la electrozi. Fenomenul se întîlneşte şi în organism, unde grupele de celule ale diferitelor organe pot avea rolul straturilor de gelatină în care au fost dizolvate substanţe de conductibilitate diferită.

5. IONOTERAPIA ELECTRICĂ

În organism, ionii se pot introduce uşor pe cale de injecţii subcutanate. S-a dovedit însă că unele substanţe astfel introduse se elimină repede pe cînd, dacă sînt introduse pe cale electrolitică (ionoforeză), eliminarea se face mai încet, aşa că substanţa îşi poate exercita efectele ei terapeutice. Se citează astfel litina, care începe să se elimine prin urină la o oră de la injecţie, pe cînd introdusă prin electroliză nu începe să se elimine decît după 24 de ore, şi eliminarea durează timp de cîteva zile, făcîndu-se în cantităţi mici.

Introducerea ionilor metalici şi în general a ionilor electropozitivi în corp se face îmbibîndu-se un electrod activ cu soluţia medicamentoasă şi legîndu-se electrodul de polul pozitiv al generatorului de curent continuu. Intensitatea curentului trebuie să fie de 20—100 mA, după mărimea electrozilor; durata aplicaţiei trebuie să varieze între 30 şi 60 de minute, puţinindu-se repeta de trei ori pe săptămînă. În cazul ionilor metaloidici sau în general electronegativi, electrodul activ îmbibat cu soluţia medicamentoasă se leagă de polul negativ al generatorului.

Ionii medicamentoşi introduşi prin piele au în primul rînd o acţiune asupra acestui ţesut; ionoterapia electrică se aplică deci în primul rînd în afecţiunile dermatologice.

În caz de localizări gutoase, se introduce ionul de litiu aplicînd pe regiunea afectată un electrod mare pozitiv, îmbibat cu o soluţie de clorură

de litiu 2 %, alcalinizată cu hidroxid de litiu. Electrocul negativ are și el o suprafață mare și este aplicat pe spate sau pe abdomen. Se poate ajunge progresiv pînă la 100 și chiar 200 mA, menținînd acțiunea 30 de minute. Litiul pătrunde în țesuturi, se combină cu acidul uric, formînd un urat de litiu, mult mai solubil decît uratul de sodiu care formează depozitele guptoase, așa că ionii de sodiu și de calciu sînt eliminați prin urină. În loc de clorură de litiu se întrebuintează în ultima vreme, în ionoterapia electrică, salicilatul de litiu.

Se tratează reumatismul articular subacut introducînd prin ionoforeză ionul salicilat. Artritele cronice sînt de asemenea ameliorate prin ionoterapia cu iod și calciu. Pentru diferite nevralgii sînt introduse azotatul de aconitină cu electrocul pozitiv și salicilatul de litină la ambii electrozi. În unele cazuri se aplică baia electrică cu 4 celule, în care se află electrozii și electrolițele (fig. 392).

Se poate produce o anestezie locală prin aplicarea electrolitică a sărurilor de novocaină. În stomatologie, ionoforeza cu novocaină dă o bună anestezie locală. Introducerea iodului este recomandată pentru a înmuia cicatricele aderente; ionul de iod exercită și o acțiune antiseptică, activînd cicatrizarea plăgilor.

În general, ședințele de ionoterapie electrică trebuie să fie de durată mai lungă (30 de minute)

sau repetate mai des, pentru ca o cantitate apreciabilă de ioni să poată intra în organism. Intensitatea curentului trebuie să fie de 10—15 mA pentru o suprafață de 100 cm² a electrocului.

După unii autori, introducerea ionilor în organism este influențată de o serie de factori fizici, și anume: sarcina electrică a ionilor (aceasta duce la modificarea gradului de dispersie a coloizilor din organism, ori la producerea unor fenomene de polarizare electrică a membranelor care au un rol în schimbul de materie dintre celule); greutatea atomică (ionii pozitivi grei fiind mai toxici și avînd o putere de coagulare mai energică decît cei ușori de același semn electric); radioactivitatea ionilor (care are o însemnătate deosebită în procesul de ionoforeză); adsorbția (care se vedește la unii ioni prin faptul că au acțiune asupra materiei vii chiar în concentrații foarte mici); în acest din urmă caz, trebuie să se admită o adsorbție selectivă a substanțelor proteice, care ar explica acțiunea antiseptică puternică a unor cantități mici de ioni de argint și de cupru. Cercetările au arătat că asupra ionoforezei are o influență deosebită iradiația cu raze infraroșii, care prin vasodilatația periferică produsă aduce un aflux de sînge în regiunea cutanată și înlesnește astfel intrarea ionilor în curentul sanguin, în cantitate mai mare.

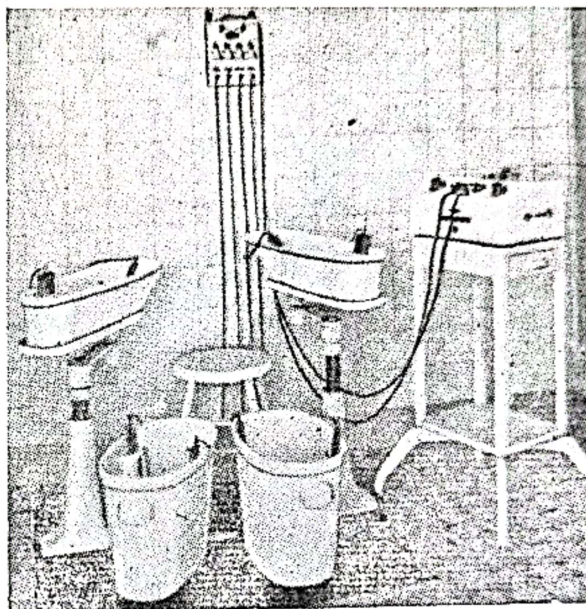


Fig. 392 — Baie electrică cu patru celule (electrozi de cărbune) pentru ionoterapie electrică.

E. CÂMPUL MAGNETIC AL CURENȚILOR

1. CÂMPUL MAGNETIC

Am arătat că în spațiul care înconjură sarcinile electrice apare un câmp electrostatic, cu proprietăți fizice bine definite. Tot astfel, în spațiul care înconjură un conductor, prin care trece un curent electric, apare un câmp de tip special, numit câmp magnetic. Câmpul magnetic constituie una din formele materiei. În acest câmp este distribuită energie. Câmpul magnetic se caracterizează prin proprietatea de a fi continuu, de a transmite interacțiunea forțelor cu o viteză foarte mare, dar bine determinată.

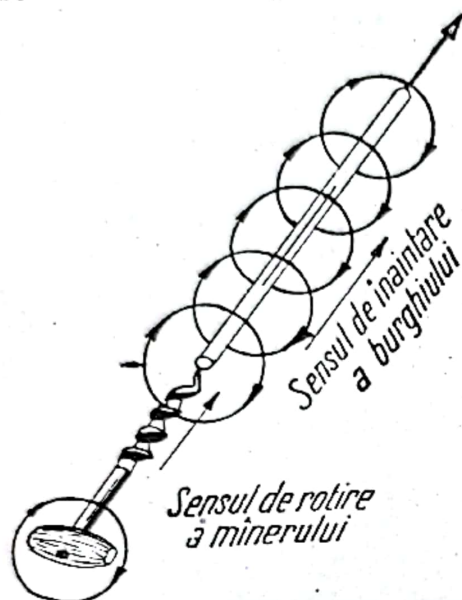


Fig. 393 — Sensul liniilor de forță magnetică.

Asupra unui ac magnetic introdus într-un câmp magnetic acționează forțe care-i dau o anumită poziție. Dacă un conductor prin care circulă un curent se află într-un câmp magnetic, conductorul este supus unor eforturi orientate într-o anumită direcție. Prin mișcarea unui conductor într-un câmp magnetic ia naștere în conductor o forță electromotoare.

Sensul câmpului magnetic depinde de sensul curentului care-l produce; această dependență se exprimă prin regula cunoscută sub numele de regula burghiului: dacă mișcarea de înaintare a burghiului corespunde sensului curentului, sensul de rotire a minerului burghiului indică sensul liniilor de forță magnetică (fig. 393).

Studiul liniilor de forță ale câmpului magnetic produs de curenți arată că ele sînt linii închise; aceste linii înconjură totdeauna curentul electric, formînd curbe închise. Ele se deosebesc astfel de liniile de forță ale câmpului electrostatic. Cu toate acestea, există multe analogii între câmpul magnetic și cel electrostatic.

În dezvoltarea istorică a cunoștințelor despre magnetism a apărut mai întîi învățătura despre magnetismul permanent. Minerul de fier Fe_3O_4 (magnetită), cunoscut din antichitate, are o magnetizare permanentă apreciabilă; el constituie de altfel singurul magnet natural.

Coulomb a încercat, la finele secolului al XVIII-lea, să stabilească pentru interacțiunea magneților o lege analogă celei a interacțiunii sarcinilor electrice punctiforme. Astfel s-a născut concepția analogiei dintre atracția magnetică și cea electrostatică. În prezent, se consideră că intensitatea H a câmpului magnetic este analogă intensității E a câmpului electrostatic.

Deosebirile dintre fenomenele electrostatice și cele magnetice sînt însă mari: în primul rînd, ele se referă la forma liniilor de forță, pe care le-am amintit.

Pentru înțelegerea aplicațiilor câmpului magnetic, întîlnite mai frecvent în cercetările și practica aparatelor electromedicale, trebuie să ne oprim la fenomenele fundamentale de electromagnetism.

Oersted (1777—1851) a observat încă la 1820 că, dacă în apropierea unui ac magnetic aducem un conductor străbătut de un curent electric, acul

magnetic deviază. Sensul deviației acului magnetic este dat de regula următoare: polul nord se îndreaptă spre stînga curentului, înțelegînd prin aceasta stînga unui observator așezat de-a lungul conductorului astfel încît curentul să-i intre prin picioare, iar observatorul să privească spre conductor. Această regulă poartă numele de regula lui Ampère (1775—1836).

Mărind intensitatea curentului, crește și intensitatea cîmpului magnetic din jurul circuitului. Cînd curentul electric își schimbă sensul, cîmpul magnetic urmează și el variațiile curentului care l-a generat.

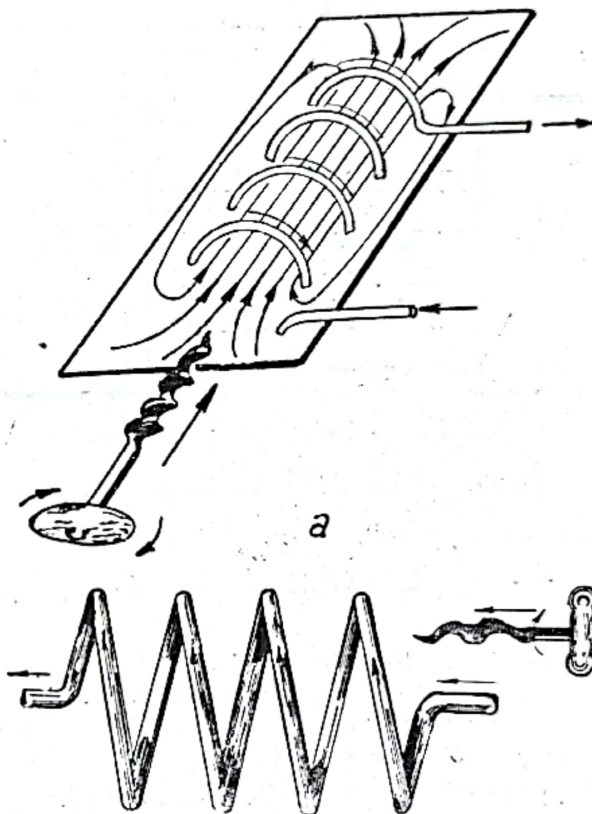
Dacă înfășurăm un conductor în spirală, obținem un solenoid. Sensul curentului și cel al liniilor de forță din solenoidul tăiat transversal este cel arătat în fig. 394. Aducînd un ac magnetic în apropierea capetelor unui solenoid străbătut de curent, se constată că acul deviază ca și cum ar fi apropiat de un magnet. Un capăt al solenoidului respinge polul nord al magnetului, dar atrage pe cel sud; celălalt se comportă în sens contrar. Solenoidul are deci însușirile unui magnet cînd trece curentul electric prin el.

De asemenea, dacă solenoidul, traversat de curent electric, poate să se rotească într-un plan orizontal, el se orientează ca un magnet, luînd direcția nord-sud. Toate acestea arată că solenoidul este asemănător unui magnet: unul din capetele lui constituie polul sud, iar celălalt polul nord.

Cîmpul magnetic al unui solenoid seamănă cu cîmpul magnetic al unui magnet permanent, cu deosebirea că la solenoid toate liniile de inducție magnetică trec prin aer: la extremitatea prin care liniile magnetice intră în solenoid se formează polul sud, iar acolo pe unde ele ies din solenoid se formează polul nord.

În sistemul absolut de unități electromagnetice (CGSem), intensitatea cîmpului magnetic H se măsoară în oerstezi (prescurtat Oe).

Solenoidul, în interiorul căruia se găsește un miez de fier moale, se numește *electromagnet* (fig. 395). Cîmpul magnetic al electromagnetului este mai puternic decît cîmpul magnetic al solenoidului, deoarece fierul introdus în solenoid devine magnet



a — cîmpul magnetic al solenoidului; b — determinarea polilor solenoidului.

Fig. 394 — Solenoidul.

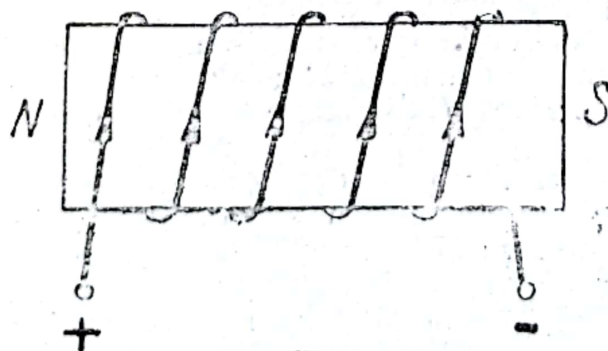


Fig. 395 — Electromagnet.

cît timp trece curentul prin solenoid și cîmpul lui magnetic se adaugă la cel al solenoidului.

Mărimea care caracterizează intensitatea cîmpului magnetic în prezența fierului se numește inducție magnetică și se notează cu B . Valoarea inducției magnetice se apreciază după forța cu care cîmpul magnetic acționează asupra unui conductor străbătut de curent, de lungime determinată și așezat într-un anumit mod în raport cu direcția cîmpului magnetic. Mărimea inducției magnetice într-un punct dat se consideră proporțională cu numărul liniilor de inducție magnetică care trec printr-o supra-

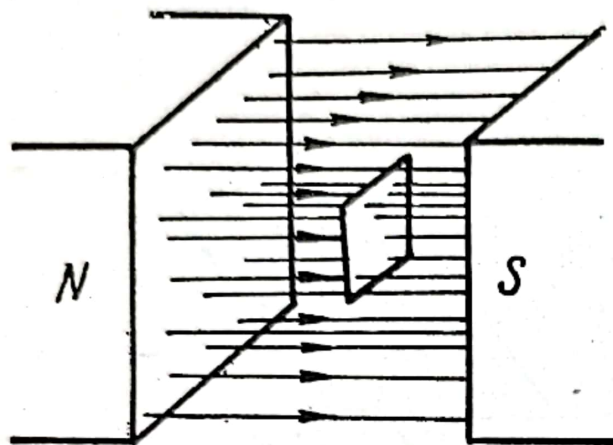


Fig. 396 — Inducția magnetică.

față de 1 cm^2 , așezată perpendicular pe direcția liniilor de inducție magnetică (fig. 396). Inducția magnetică se măsoară în gauși (unități CGS electromagnetice).

Fluxul magnetic Φ care trece printr-o suprafață S așezată perpendicular pe direcția liniilor de inducție magnetică se definește ca fiind produsul dintre inducția magnetică B și mărimea suprafeței S :

$$\Phi = B \cdot S.$$

În sistemul CGSem, fluxul magnetic se măsoară în *maxweli*.

2. MAGNEȚI PERMANENȚI ȘI MAGNEȚI TEMPORARI

Diferite corpuri așezate în cîmpul magnetic exercită influențe deosebite asupra repartiției fluxului magnetic.

a) **Permeabilitatea magnetică.** Introducînd în cîmpul magnetic o bucată de fier, cea mai mare parte din liniile de forță trec prin ea: inducția magnetică este mult mai mare în fier decît în aer.

Proprietatea de a conduce liniile de forță magnetică se numește permeabilitate magnetică.

În majoritatea lor, corpurile se comportă ca aerul sau ca vidul. Numai fonta, fierul, oțelul, nichelul, cobaltul și unele aliaje conduc liniile de forță magnetică de mii de ori mai bine decît aerul (fierul de peste 1 000 de ori, aliajul permaloy de 100 000 de ori). Aceste substanțe se numesc *feromagnetice*. Permeabilitatea substanțelor feromagnetice nu este constantă, ci variază în funcție de intensitatea cîmpului magnetic.

b) **Saturația magnetică.** În corpuri feromagnetice, inducția magnetică crește cu intensitatea cîmpului. Începînd de la o valoare a cîmpului, însă, inducția magnetică B devine atît de mare încît nu mai poate spori, oricît ar crește intensitatea cîmpului magnetizant H . Starea aceasta se numește saturație magnetică.

c) **Magneți permanenți.** Corpurile feromagnetice, după ce au fost scoase din cîmpul magnetic sau dacă intensitatea cîmpului magnetic devine egală cu zero, păstrează o parte din inducția magnetică, datorită unei forțe coercitive, proprie fiecărui corp feromagnetic. Inducția care rămîne în corpul feromagnetic cînd intensitatea cîmpului se anulează se numește magnetism remanent.

Oțelul tare, oțelul aliat cu wolfram, crom, cobalt, nichel, aluminiu, au un magnetism remanent mai mare. Aceste oțeluri sînt utilizate la fabricarea magnetilor permanenți, care au mare întrebuințare în foarte numeroase aparate electrice: generatori, mîtoare, aparate de telecomunicații și radiocomunicații, aparate electrice de măsurat etc.

d) **Electromagneți.** Fierul pur, fierul moale, aliajele fierului cu siliciul au un magnetism remanent slab. Ele se magnetizează ușor și tot așa de ușor se demagnetizează. Ele sînt utilizate la fabricarea electromagnetilor, adică a pieselor care sînt magnetice cît timp trece curentul prin solenoidul din jur dar care încetează de a fi magneti de îndată ce a încetat trecerea curentului.

Un electromagnet are aceeași polaritate ca și solenoidul în interiorul căruia se află miezul de fier moale.

Pentru a se obține o forță magnetică mai puternică se alcătuiesc sisteme de doi electromagneți, care au formă de U; conductorii lor sînt înfășurați în sens contrar (fig. 397). La capătul liber al unuia din solenoizi se formează polul nord, iar la capătul celuilalt, polul sud, astfel că, dacă am dezdoi electromagnetul în formă de U, am avea un singur magnet și un singur solenoid cu polaritatea arătată.

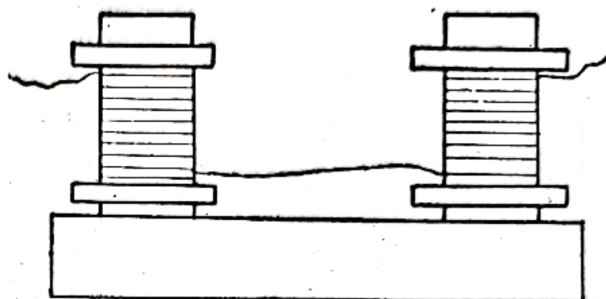


Fig. 397 — Electromagnet în formă de U.

3. APLICAȚII GENERALE ȘI MEDICALE ALE MAGNEȚILOR

Magneții și electromagneții au întrebuințări foarte numeroase în electrotehnică și radiotehnică, în aparatele de laborator, în electrofiziologie, în terapeutică; ele constituie piese importante ale aparatelor electrice de diferite categorii.

În medicină, magneții și electromagneții se aplică în mod special la descoperirea și extragerea corpurilor feromagnetice intrate accidental în ochi, la localizarea proiectilelor în organism etc.

Pentru a pune în evidență existența corpului feromagnetic străin, se utilizează aparatul cunoscut sub numele de sideroscop.

a) **Sideroscopul** este format dintr-un sistem de ace magnetice, coaxiale, așezate rigid unul față de altul, cu polii de semn contrar față în față pentru nu a suferi influența magnetismului terestru (sistem astatic).

Acest aparat este adus cu acul inferior al sistemului astatic în apropierea ochiului în care au intrat așchiile de fier sau lîngă regiunea din corp unde se presupune că se află glonțul. Acul magnetic este deviat de particula de fier sau de glonț, deviația fiind mai mare cînd corpul străin este mai aproape de acul inferior al sistemului astatic. Astfel se poate determina locul unde se află corpul străin și se poate face intervenția necesară.

b) Se construiesc și aparate magnetice puternice pentru extragerea corpurilor feromagnetice străine intrate în diferitele regiuni ale corpului. Astfel, dacă particulele de fier au intrat în camera anterioară a ochiului, extracția se face cu un electromagnet format dintr-un miez cilindric de fier moale, aflat în interiorul unui solenoid format dintr-un conductor de cupru prin care circulă curentul. La unul din capete, electromagnetul are formă ascuțită; acest capăt se apropie de ochi în dreptul deschiderii pro-

duse de intrarea corpului străin. Particula străină atrasă de magnet este astfel extrasă din ochi. Forma vârfului ascuțit variază după necesități. Dacă particulele de fier au pătruns mai adânc în camera posterioară a ochiului, se face extracția cu un electromagnet mai puternic care poate produce o forță pînă la 400 kg (fig. 398).

c) **Aparate de măsurat.** Una din aplicațiile cele mai importante ale cîmpului magnetic o constituie construirea aparatelor de măsurat caracteristicile curentului electric.

Aparatele de măsurat intensitatea, forța electromotoare și rezistența, folosite în electrologia medicală, se împart din punctul de vedere al principiului de construcție și funcționare în mai multe categorii: 1) aparate în care se produce interacțiunea dintre conductorii parcurși de curent electric și magneții permanenți; acestea se numesc aparate *magneto-electrice*; 2) aparate în care o piesă de fier moale este introdusă într-o bobină prin care trece curentul; acestea se numesc aparate *electromagnetice* și 3) aparate în care are loc acțiunea reciprocă a două bobine (solenoidi) parcurse de curent electric (aparate *electrodinamice*).

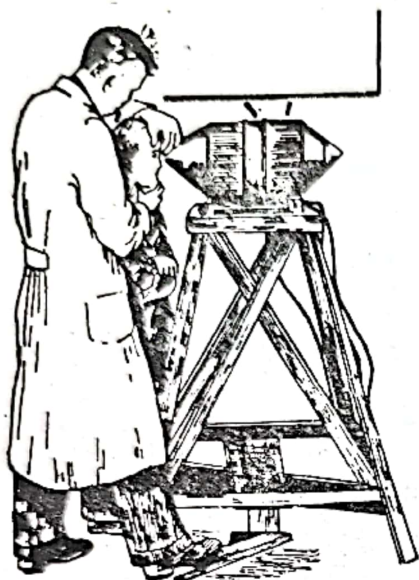


Fig. 398—Extragerea particulelor de fier din ochi cu electromagnetul medical.

un cilindru fix de fier avînd raza puțin mai mică decît raza pieselor polare; circuitul în fier este aproape închis și liniile de forță sînt concentrate în intervalul cilindric dintre piesele polare și cilindrul de fier. În acest interval, numit „întrefier“, se află un cadru ușor *ab*, compus din cîteva spire metalice izolate, prin care circulă curentul de măsurat. Un resort subțire ține cadrul în poziția de echilibru. La trecerea curentului prin cadru, acesta se rotește pînă ce momentul forțelor electromagnetice care acționează asupra lui va fi echilibrat prin momentul mecanic al resortului răsucit. Un ac legat rigid de axa cadrului indică pe o scară gradată unghiul de rotație al acestuia; cîmpul magnetic este uniform în întrefier; de aceea, unghiul de rotație este aproximativ proporțional cu intensitatea curentului.

Galvanometrele de această construcție sînt foarte ușor de mînuit din cauza stabilității, sensibilității lor și a micii dependențe de cîmpurile exterioare. Pe acest principiu sînt construite aproape toate aparatele de laborator pentru măsurarea curentului continuu. Aceste galvanometre pot fi utilizate ca *voltmetre* (pentru forță electromotoare, diferență de potențial) introducînd în serie cu cadrul o rezistență mare, constantă; ele pot fi folosite ca *ampermetre*, pentru măsurarea intensității curentului, dacă se introduce, în paralel cu cadrul, un șunt.

Galvanometrul cu oglindă. Galvanometrele mai sensibile au cadrul mobil atîrnat de un fir subțire. Unghiul de răsucire a firului se determină prin măsurarea unghiului cu care deviază o rază de lumină de la un izvor

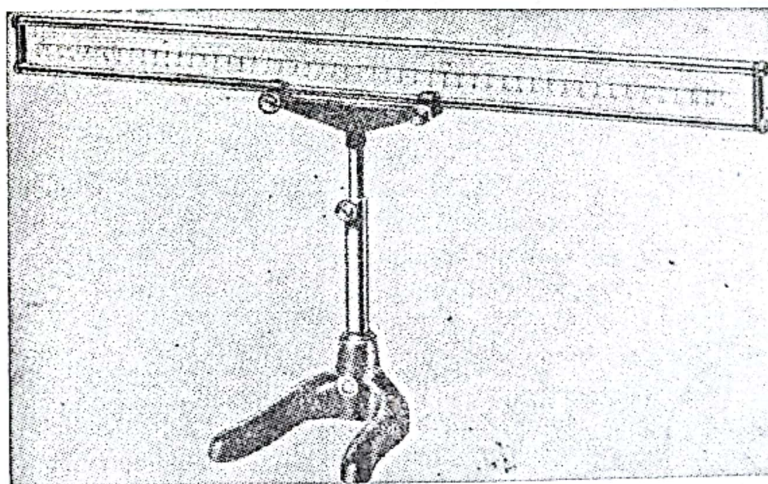
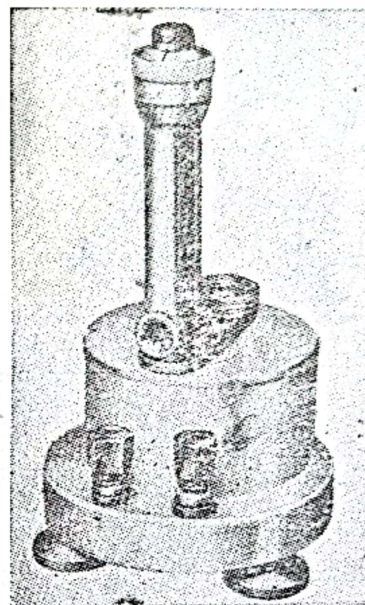
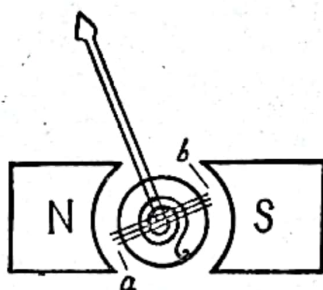
fix, reflectată pe o oglindă fixată pe fir. Aceste galvanometre se numesc galvanometre cu oglindă. Magnetul unui astfel de galvanometru are un câmp de peste 1 500 oerstezi.

Deviația cadrului se determină pe cale optică în modul următor: pe firul care susține cadrul este fixată oglinda metalică menționată, mică ($1-2\text{cm}^2$), pe care se trimite o rază de lumină de la izvorul luminos fix. Raza reflectată este prinsă pe o riglă de sticlă mată, sub forma unei pete luminoase (spot); pe această riglă de sticlă sînt trasate o serie de diviziuni. Cînd oglinda se rotește de un unghi α , raza reflectată descrie un unghi 2α , și cum rigla gradată se află la o anumită distanță de galvanometru, mișcările unghiulare cit de mici ale oglinzii se pot aprecia prin diviziuni destul de distanțate între ele. Gradarea se face prin calcul trigonometric sau prin comparare cu alte aparate.

Sensibilitatea unui asemenea galvanometru cu oglindă este de $10^{-10} \dots 10^{-11} \text{ A/cm}$ pe metru; pentru o intensitate de acest ordin de mărime, spotul luminos se deplasează pe o distanță de un centimetru, pe o riglă gradată aflată la distanță de 1 metru de oglinda galvanometrului.

Ampermetrul. Din categoria a doua de aparate de măsurat (galvanometre electromagnetice) fac parte aparate mai puțin sensibile, dar foarte răspîndite, din cauza manipulării lor ușoare. Acțiunea lor se bazează pe deplasarea unei piese de fier în interiorul unui solenoid. În fig. 400 este prezentată schema unui ampermetru tehnic de curent continuu. În această figură se vede: solenoidul (4), piesa de fier (1) acul indicator (2) și scara gradată (3). Cînd trece curentul prin solenoid, piesa de fier este atrasă și mișcă acul indicator. Pentru ca piesa de fier de care este prins rigid acul să nu facă oscilații periodice, se întrebuițează un amortizor mecanic, format dintr-un dispozitiv, care prin frecare cu aerul amortizează oscilațiile.

Fig. 399—Schema galvanometrului cu cadru (1); galvanometrul cu oglindă (2); scara gradată (3).



Unul din cele mai sensibile galvanometre este galvanometrul cu coardă. Acesta face parte din categoria de aparate cu conductorul mobil.

Galvanometrul cu coardă (fig. 401) a fost construit și folosit pentru prima oară de Einthoven din Leyda în cercetări de electrofiziologie. Deoarece a fost folosit pentru măsurarea curenților de acțiune ai inimii, acest galvanometru a primit numele de *electrocardiograf*.

Galvanometrul cu coardă este alcătuit, în principiu, dintr-un fir foarte subțire, de platină sau de cuarț argintat, cu un diametru de 2—4 μ . Acest fir este întins între polii unui electromagnet foarte puternic. Un

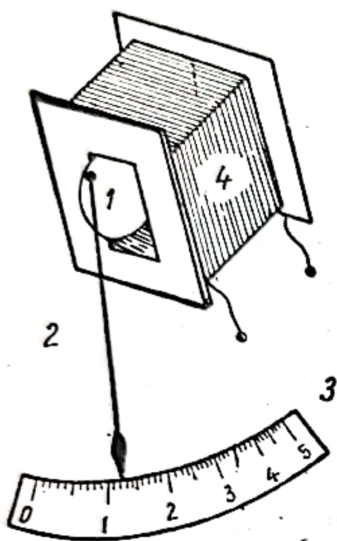


Fig. 400 — Ampermetru de curent continuu.

curent electric, chiar foarte slab, trecând prin fir, acesta se deplasează în câmpul magnetic, după regula mîinii stîngi: dacă ținem mîna stîngă în câmpul magnetic așa ca liniile magnetice care ies prin polul nord să intre în palmă (fig. 402), iar cele patru degete întinse împreună să arate sensul curentului în conductor, degetul mare întins spre stînga arată sensul deplasării conductorului.

Firul conductor are o inerție foarte mică, așa că deplasarea lui urmărește cele mai mici variații ale curentului. Deviațiile firului sînt proporționale cu intensitatea curentului. Mișcările firului se pot observa la microscop și deviațiile se pot măsura cu micrometrul ocular. Mai ușor decît observarea la microscop se face înregistrarea fotografică. Pentru a observa sau fotografia firul, piesele polare ale magnetului sînt perforate în direcția cîmpului magnetic. Prin canalul astfel realizat se trimite un fascicul de lumină care aduce imaginea firului conductor, printr-un dispozitiv optic, într-un aparat fotografic, unde imaginea mărită a firului este proiectată, printr-o fantă îngustă, pe o hîrtie sensibilă în mișcare uniformă. Din compunerea mișcării firului și celei a hîrtiei sensibile rezultă o așezare alături a numeroase linii elementare, care alcătuiesc o curbă ce redă deplasarea firului în timp.

Galvanometrul cu coardă este foarte sensibil; el poate înregistra o diferență de potențial de 10—8V, producînd pe hîrtia fotografică o deviație de 1 cm; deplasarea firului poate fi mărită și mai mult prin amplificare optică și electronică.

Electrocardiograf. În capitolul privind electrogeneza biologică s-a arătat că un mușchi care se contractă prezintă o diferență de potențial, așa că este străbătut de un curent electric. Experiența arată că fiecare porțiune de țesut excitat devine electronegativă față de țesutul care se află în repaus. Dacă însă excitația cuprinde un întreg organ și toate punctele acestuia se află într-o stare identică, diferența de potențial dintre două puncte ale organului este nulă. În mușchiul cardiac aflat în acțiune, apar, ca și în alte organe, potențiale electrice, al căror studiu are o deosebită însemnătate clinică și științifică generală.

Curenții de acțiune ai inimii sau, mai bine zis, ai miocardului, a cărui activitate se face prin contracții,

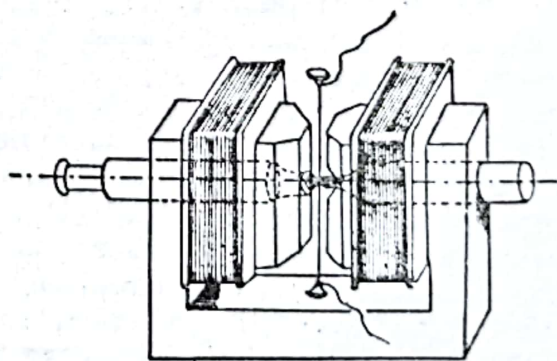


Fig. 401 — Galvanometru cu coardă.

se pot înregistra cu ușurință la animale și la om. Liniile de forță ale cîmpului electric apărut se răspîndesc în toate direcțiile, de la locul apariției diferenței de potențial. Se demonstrează că, dacă inima ar avea în corp o poziție perfect mediană, între punctele simetrice ale suprafeței corpului nu ar putea apărea o diferență de potențial. Inima nu este însă așezată simetric în cutia toracică, iar curenții bioelectrici care apar se răspîndesc în corp.

Curenții electrici care apar în țesuturile vii avînd tensiuni foarte mici, de ordinul de mărime al microvolților, cum și o durată extrem de mică, s-a ivit nevoia unor aparate de o sensibilitate foarte mare, cu o inerție foarte mică a echipamentului mobil. Inerția fiind proporțională cu masa, s-au construit galvanometre ale căror părți mobile au o masă foarte mică. Unul din aceste galvanometre, folosit în electrocardiografie, este galvanometrul cu coardă, descris mai înainte. Pentru înregistrarea curenților inimii, la animale, cei doi electrozi se aplică direct pe inimă. La om este de ajuns să se pună în legătură cu aparatul doi electrozi așezați unul în regiunea bazei inimii și altul în regiunea vîrfului ei.

Numeroasele experiențe au arătat că potențialele electrice se distribuie în jurul polilor cardiaci într-un mod anumit (fig. 403): linia ecuatorială OO' , cuprinsă în planul perpendicular pe axa electrică a inimii, delimitează cele două regiuni din organism cu potențiale diferite. Curbele de deasupra liniei OO' sînt curbe echipotențiale de același semn cu baza inimii, iar cele de dedesubt au semnul vîrfului inimii.

Astfel, un electrod așezat deasupra liniei ecuatoriale OO' și altul dedesubt sesizează ușor curenții de acțiune ai inimii.

Rezultatele experiențelor au dus la concluzia că curenții de acțiune ai inimii pot fi culeși și înregistrați la om punînd electrozii în contact, fie cu cele două mîini ale subiectului (conducerea I), fie cu mîna dreaptă și piciorul stîng (conducerea a II-a), fie cu piciorul stîng și mîna stîngă (conducerea a III-a).

În fiecare din cele trei conduceri arătate, cei doi electrozi sînt așezați unul deasupra și celălalt dedesubtul liniei ecuatoriale OO' . Conducerea I culege deci forța electromotoare dintre bază și vîrfu inimii; conducerea a II-a culege cea mai mare diferență de potențial și dă deci variația negativă cu cea mai mare amplitudine și claritate.

Electrozii folosiți în electrocardiografie trebuie să fie impolarizabili pentru a nu introduce nici o forță electromotoare străină în procesul de înregistrare a curențului produs de inimă. În practică, conducerea se realizează cu ajutorul unor electrozi utilizați frecvent în electrologie, îmbibați cu o soluție cloruro-sodică izotonică. Bolnavul aflîndu-se în repaus, înregistrarea

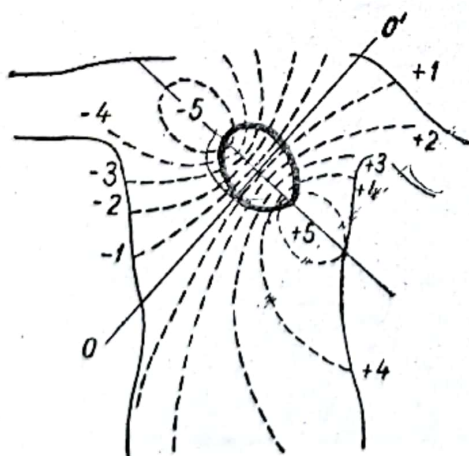


Fig. 403 — Distribuția potențialelor în jurul polilor cordului.

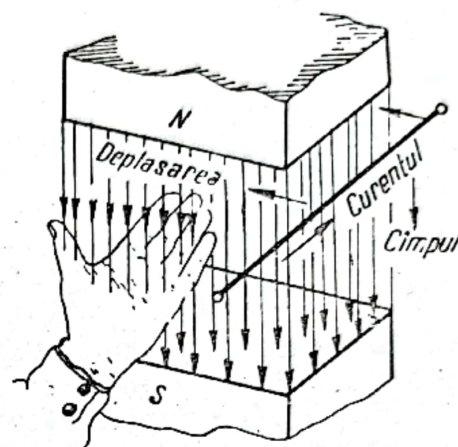


Fig. 402 — Deplasarea conductivului între polii magnetului.

făcută cu galvanometrul cu coardă (oscilograf cu coardă) pe hîrtie sensibilă redă activitatea electrică a inimii.

Curba înscrisă se numește *electrocardiogramă*. Graficul dat de conducerea a II-a este caracterizat, la o inimă normală, de prezența a cinci undulații, notate de Einthoven cu literele *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*; undulația *P* corespunde sistolei, undulațiile *R* și *T* corespund sistolei ventriculare. Curba *R* este mai ascuțită și cea mai înaltă și se produce la început, iar curba *T* la sfîrșitul contracției ventriculare. Aceste undulații ale curbei sînt po-

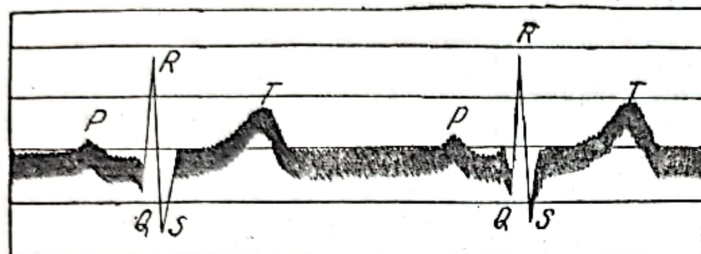


Fig. 404 — Electrocardiogramă (conducerea II).

zitive. Curbele *Q* și *S* sînt negative, adică îndreptate în jos; ele se înscriu la începutul și sfîrșitul undulației ventriculare inițiale *R*. Partea orizontală cuprinsă între *P* și *Q* corespunde micii pauze a inimii (fig. 404), iar cea dintre *T* și *P*, pauzei mari a inimii.

Viteza de trecere a hîrtiei

sensibile fiind cunoscută, se poate determina durata diferitelor etape ale procesului înregistrat de electrocardiogramă și deci a revoluției cardiace.

În fig. 405 este redat un moment din tehnica electrocardiografică și anume aplicarea conducerii a III-a (mîna stîngă — piciorul stîng).

În prezent, se înregistrează de multe ori curentul cardiac și în alte două conducări, și anume: derivațiile toracice inferioare și superioare.

Afecțiunile inimii modifică forma curbelor; compararea unor astfel de curbe cu cele ale unei inimii sănătoase dă medicului cardiolog posibilitatea să interpreteze diferitele anomalii în funcționarea cordului.

În ce privește amplitudinea oscilațiilor care alcătuiesc electrocardiograma, construcția geometrică cunoscută sub numele de *triunghiul lui Einthoven* arată că amplitudinea variază cu poziția axei electrice a inimii.

Direcția acestei axe, vecină în general cu axa anatomică, dar necoincizînd totdeauna cu ea, este reprezentată în fig. 406 printr-o săgeată care trece prin centrul triunghiului echilateral ale cărui laturi corespund celor trei derivații. Din mijlocul fiecărei laturi se ia o lungime proporțională cu amplitudinea undei *R* și *S*, în sensul corespunzător acestor unde. Din extremitățile segmentelor astfel obținute se duc perpendiculare, care prin intersecția lor determină două puncte *E* și *E'*. Acestea determină un segment proporțional cu forța electromotoare a inimii și cu direcția reprezentînd direcția axei electrice a inimii. Proiecțiile lui *EE'* pe cele trei laturi sînt proporționale cu amplitudinile oscilațiilor în cele trei derivații. De aici reiese că amplitudinea oscilațiilor depinde, înainte de toate, de valoarea

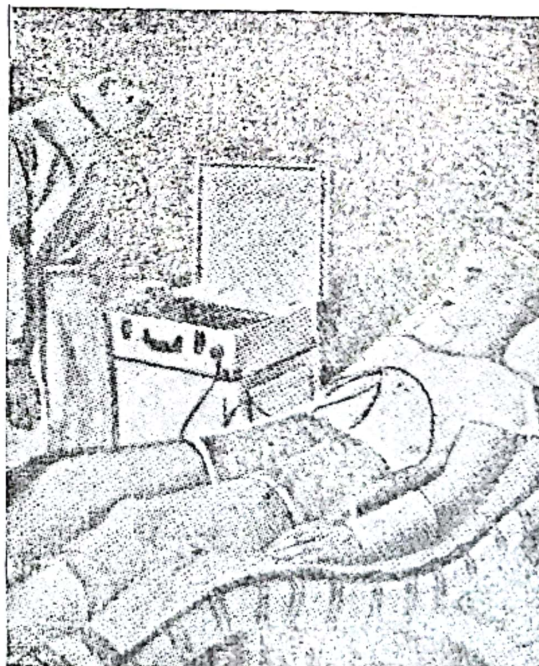


Fig. 405 — Conducerea a III-a (mîna stîngă, piciorul stîng).

forței electromotoare a inimii și de direcția axei inimii, fiindcă proiecția segmentului EE' pe fiecare din laturi depinde, ca mărime, de înclinarea segmentului pe fiecare latură.

Deși se construiesc și se întrebuințează oscilografe cu coardă foarte sensibile, totuși, de la perfecționarea tuburilor electronice se construiesc electrocardiografe avînd la bază oscilograful catodic; acestea sînt cele mai sensibile și mai bune electrocardiografe. Oscilograful catodic va fi descris în partea finală a lucrării de față, la aparatele care funcționează pe baza fascicului de raze catodice.

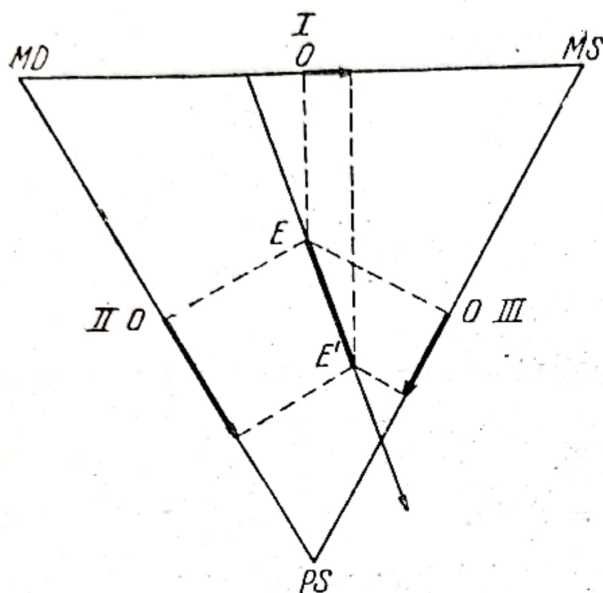


Fig. 406 — Triunghiul lui Einthoven.

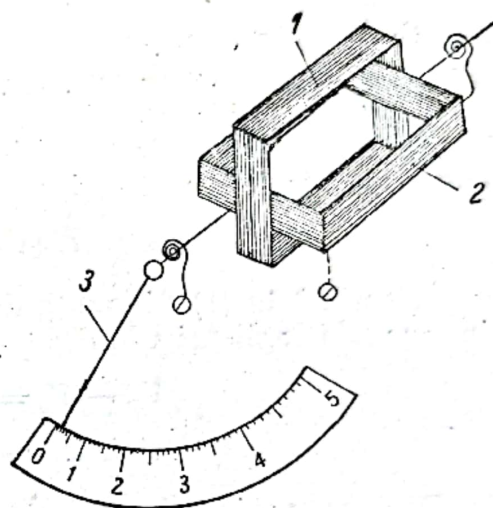


Fig. 407 — Aparat electrodinamic de măsurat (schemă).

Aparate electrodinamice de măsurat (categoria a treia) nu au magneți, ci sînt bazate pe acțiunea reciprocă a unor conductori străbătuți de curent. Cea mai simplă schemă a unui asemenea aparat este constituită dintr-un cadru suspendat în interiorul unui solenoid. Mărimea momentului de rotație aplicat cadrului este proporțională cu intensitatea I_1 a curentului care trece prin cadru și cu intensitatea I_2 a curentului care trece prin solenoid. Dacă prin cadru și solenoid trece același curent de măsurat I , mărimea momentului de rotație este proporțională cu I_2 .

Acțiunea reciprocă dintre cele două bobine parcurse de curent se utilizează mai ales la construcția wattmetrelor, adică a aparatelor care măsoară puterea absorbită într-un segment dat al unui circuit, și care știm că este proporțională, atît cu diferența de potențial de la capetele segmentului, cît și cu intensitatea curentului din circuit. Un model simplificat de astfel de aparat de măsură este redat în fig. 407; bobina 2 este fixă, iar de bobina 1, care este mobilă, este legat rigid indicatorul 3. Dacă se schimbă sensul curentului, acest sens se schimbă în ambele bobine, așa că aparatul continuă a funcționa ca mai înainte.

Tot pe principiul electrodinamic este construit și contorul electric, cu ajutorul căruia se măsoară energia electrică consumată într-un anumit interval de timp.

F. EFECTELE TERMICE ALE CURENTULUI ELECTRIC

În mișcarea lor printr-un conductor de diametru mic, deci de rezistență mare, electronii pun în mișcare termică atomii din conductor, producând căldură.

Încălzirea unui conductor, la trecerea unui curent electric prin el, se numește *efectul Joule-Lenz*, după descoperitorii lui. În acest proces fizic, o parte din energia electrică se transformă în energie calorică.

1. LEGEA JOULE-LENZ

Este o lege fundamentală a curentului electric. Examinînd fenomenul mai de aproape, se constată că, dacă într-un segment de conductor, care are la extremitățile sale diferența de potențial $V_1 - V_2$, se deplasează în timpul t cantitatea de electricitate It de la o extremitate la cealaltă, deplasarea sarcinilor electrice produce lucrul mecanic:

$$A = It(V_1 - V_2). \quad (1)$$

Înlocuind în (1) diferența de potențial $V_1 - V_2$ cu valoarea ei scoasă din expresia legii lui Ohm

$$V_1 - V_2 = IR, \\ \text{vom avea } A = I^2 Rt. \quad (2)$$

Dacă se exprimă intensitatea curentului în amperi, diferența de potențial în volți și timpul în secunde, se obține lucrul mecanic în jouli. Un joule fiind echivalent cu 0,238 9 (aproximativ 0,24) calorii mici, vom avea valoarea cantității de căldură degajată prin trecerea curentului dată de relația

$$Q = 0,24 It(V_1 - V_2) \quad (3)$$

sau

$$Q = 0,24 I^2 Rt. \quad (4)$$

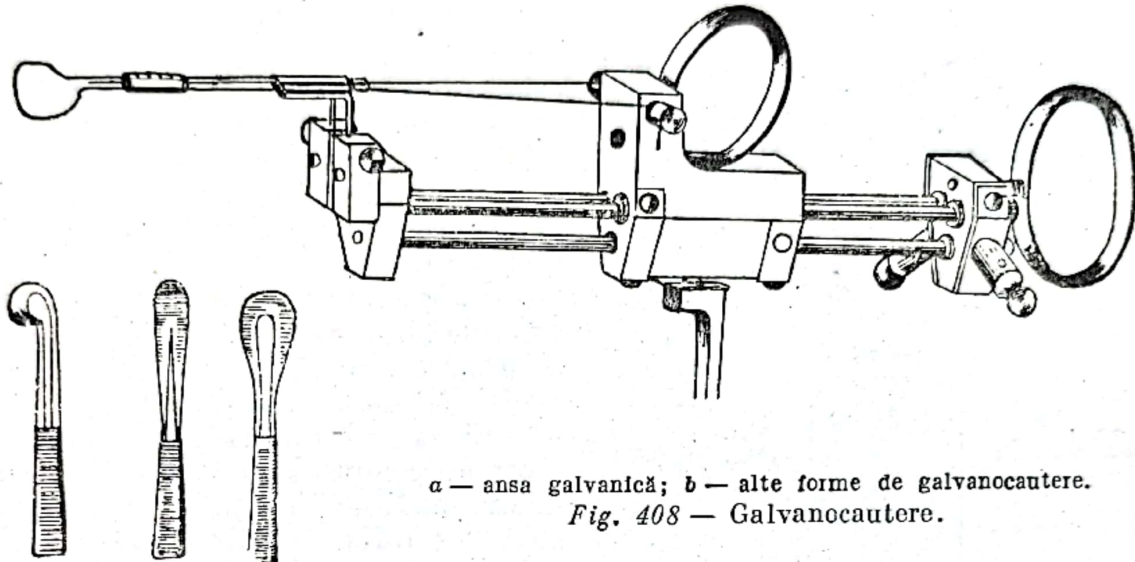
Această relație a fost stabilită experimental în același timp (1841) de James P. Joule (1818—1889) și de Emil Hristianovici Lenz (1804—1865). Legea Joule-Lenz arată că o cantitate de căldură Q degajată într-un conductor, la trecerea curentului, este proporțională cu pătratul intensității curentului, cu rezistența conductorului și cu timpul de trecere a curentului prin conductor.

2. ÎNCĂLZIREA ELECTRICĂ

Încălzirea unui conductor la trecerea unui curent electric este bogată în consecințe. Încălzirea electrică, începînd de la încălzitoarele de cameră, radiatoare, aparate de încălzit, de fiert, de călcat, și pînă la marile cupatoare electrice cu temperaturi ridicate, necesare topirii și prelucrării metalelor, toate acestea se obțin prin trecerea curentului electric prin conductori sau semiconductori de rezistență calculată. Iluminatul prin incandescență, care va fi descris mai departe, se obține de asemenea ca efect al încălzirii electrice a anumitor conductori.

3. GALVANOCAUTERE

Galvanocauterele sînt aparate electromedicale de forme variate, compuse în principiu din fire metalice sau lame subțiri de metal neoxidabil, de obicei de platină, aduse la incandescență prin trecerea unui curent galvanic; ele sînt întrebuintate la cauterizarea unui punct sau a unei suprafețe mai mici, ca și la secționarea fără hemoragie a unor țesuturi. Galvanocauterele sînt alimentate cu un curent continuu de tensiune mică (2—10 V) și intensitate mare.



a — ansa galvanică; b — alte forme de galvanocautere.
Fig. 408 — Galvanocautere.

Un galvanocauter de tip special este ansa galvanică; aceasta este formată dintr-un fir de platină sau de oțel neoxidabil (fig. 408) cu diametrul de 0,5 mm. Capetele firului sînt prinse de o piesă mobilă al cărei suport se ține cu mîna. Pentru a secționa o tumoare pediculată, se înconjură aceasta cu firul în formă de inel, se trece curentul prin fir, care devine incandescent și, trăgînd cu mîna piesa mobilă, firul se deplasează și arde treptat pediculul tumorii. Curentul se reglează prin dispozitive obișnuite, care vor fi descrise mai departe.

G. EFECTUL LUMINOS AL CURENTULUI ELECTRIC

Cu ajutorul curentului electric se obțin radiații luminoase pe două căi: încălzirea electrică pînă la incandescență a unui corp solid, de anumită rezistență (fir de cărbune, fir metalic, electrozi de cărbune); această transformare a energiei electrice în energie luminoasă va fi tratată aici; descărcarea electrică luminiscentă în gaze rarefiate va fi descrisă mai departe, în capitolul despre luminiscență din partea „Noțiuni de fizică atomică”.

1. ILUMINATUL ELECTRIC

Lampa electrică a deschis o nouă perioadă în istoria culturii, în dezvoltarea economiei și în igiena generală.

Influența iluminatului asupra productivității muncii, asupra igienei generale și individuale, asupra vieții sociale, însemnătatea izvoarelor de lumină asupra ridicării nivelului de viață și cultură a maselor sînt deosebit de importante. Rezolvarea problemelor tehnice, igienice și sociale ale iluminatului arată grija față de om.

Iluminatul electric a fost introdus în secolul al XIX-lea și s-a dezvoltat în mai multe etape. Progresul industrial al epocii impunea găsirea unui mijloc de iluminat mai corespunzător noilor mijloace de producție și stadiului de atunci al științei și tehnicii. Primele încercări de folosire a energiei electrice la iluminat s-au făcut la începutul secolului al XIX-lea, la numai câțiva ani de la descoperirea făcută de Galvani și Volta că energia electrică se poate produce prin transformarea energiei chimice cu ajutorul elementelor și bateriilor electrice.

a) Lampa cu arc. În 1803, V. V. Petrov (1761—1854), profesor de fizică la Academia de medicină și chirurgie din Petersburg (azi Lenin-grad), a demonstrat experimental că energia electrică poate servi la iluminat. Trecînd un curent electric prin doi electrozi de cărbune apropiați, Petrov a obținut primul arc electric (fig. 409).

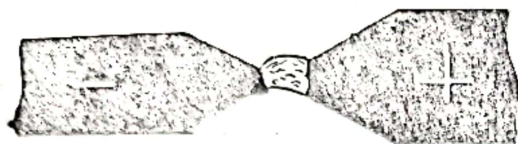


Fig. 409 — Arcul electric.

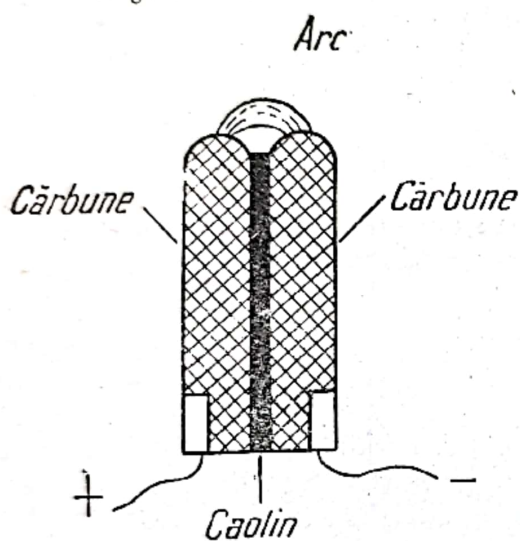


Fig. 410 — „Lumînarea electrică” a lui Iablocikov.

În lucrarea sa „Comunicări asupra experiențelor galvano-voltaice făcute de profesorul de fizică Vasili Vladimirovici Petrov cu ajutorul unei enorme baterii, avînd uneori pînă la 4 200 discuri de cupru și zinc, aflată la Academia medico-chirurgicală din Petersburg”, publicată în 1803, Petrov scrie primele rînduri din istoria electricității referitoare la perspectivele aplicării energiei electrice la iluminat.

Mai tîrziu, inginerul rus P. N. Iablocikov (1847—1894) a construit o lampă electrică cu arc, pe care a numit-o „lumînarea electrică” (fig. 410). În 1877, la Paris, Bulevardul Operei a fost iluminat cu aceste lumînări electrice; în 1878 au fost iluminate

pe aceeași cale și alte cîteva orașe mari: Londra, Le Havre, iar în 1879, Iablocikov introduce lumina electrică cu arc la Petersburg, Moscova, Odesa, Nijni-Novgorod, Harkov, Poltava, Krasnovodsk, precum și pe vasele militare ale flotei ruse.

„Lumînarea electrică” avea cei doi electrozi de cărbune așezați vertical și paralel, la o mică distanță. Între ei se afla un strat subțire de caolin sau de gips care se volatiliza în flacăra electrică, pe măsură ce se consumau cărbunii.

Iluminatul electric prin lămpi cu arc a fost introdus și în țara noastră în industrii, pe străzile centrale ale marilor orașe, în grădini și piețe centrale. În 1885, lampa lui Iablocikov a fost instalată la Sinaia, la Castelul Peleş. Peste doi ani, a fost iluminată cu lămpi electrice cu arc o stradă centrală din București, iar la 1892 au fost instalate la București lămpi cu arc cu reglator electromagnetic automat pentru apropierea electrozilor de cărbune. Peste puțin timp, aceste lămpi au fost introduse și în orașele Iași, Galați, Brăila, Craiova.

Examinînd fenomenul descărcării electrice sub formă de arc între doi electrozi de cărbune, se observă că, dacă punem în contact vîrfurile

ascuțite ale celor doi electrozi de cărbune conectați într-un circuit de curent continuu și apoi îi îndepărtăm puțin, cu ajutorul unui dispozitiv de reglare a distanței dintre ei, apare între cărbuni, la o tensiune de cel puțin 50 de volți, o flacără luminoasă de o formă deosebită. Din cauza formei sale speciale, această descărcare electrică a primit numele de arc electric. Electrozii întrebuințați se obțin prin presarea la presiuni foarte mari a cărbunelui de retortă. Acești cărbuni nu se topesc la temperatura foarte ridicată a arcului electric.

Arcul electric poate atinge temperaturi de $3\,500^{\circ}$ și mai mari, iar în flacăra lui se pot topi chiar substanțele greu fuzibile.

La alimentarea arcului electric prin curent continuu, electrodul pozitiv se consumă mai repede decât cel negativ. Observind acești cărbuni după cîtva timp de funcționare, se vede cum cărbunele pozitiv prezintă la vîrf un crater, iar cel negativ un con care prelungește vîrfurile ascuțite. De aceea, în curent continuu, cărbunele pozitiv are de obicei un diametru cam de două ori mai mare decât cel negativ. Dacă lampa cu arc este alimentată în curent alternativ, ambii cărbuni se iau de aceeași grosime.

Temperatura cărbunelui pozitiv se ridică, în curent continuu, la $3\,500^{\circ}$ iar cea a cărbunelui negativ la $3\,000^{\circ}$. Flacăra emite o lumină bogată în radiații ultraviolete, ceea ce a făcut ca lampa cu arc să fie introdusă ca radiator de raze ultraviolete în primele timpuri ale actinoterapiei. Culoarea luminii dată de arc electric poate fi modificată prin adăugarea — la fabricarea electrozilor de cărbune de retortă — a unor săruri care colorează flacăra.

Pentru o ardere liniștită și uniformă a arcului electric este necesară o tensiune de 40—60 V și o intensitate de 10—12 A; uneori este nevoie de o intensitate și mai mare, deoarece transformarea energiei electrice în energie termică (și apoi în lumină) se face — după legea Joule-Lenz — în raport cu intensitatea curentului (I^2). Dacă sursa de curent care alimentează arc electric are o tensiune mai mare decât cea necesară lămpii cu arc (curentul de rețea este de 120 sau 220 V), surplusul de tensiune se consumă într-o rezistență suplimentară, legată în serie în circuitul arcului sau se folosesc transformatori coborîtori de tensiune.

Lămpile cu arc au o funcționare costisitoare și sînt de manipulare greoaie; intensitatea lor luminoasă și strălucirea lor sînt prea mari pentru locul de muncă, pentru locuințe și săli publice. De aceea, lămpile cu arc s-au menținut numai acolo unde a fost nevoie de o lumină puternică, fie în procesul de producție, fie pentru obținerea anumitor efecte; în prezent se folosește lampa cu arc la aparatele de proiecție cinematografică, de iluminat studiourile de filmat, la proiectoarele militare și farurile maritime, la aparatele de iluminat din atelierele de fotografie și zincografie, la unele heliografe de copiat planuri, la anumite aparate medicale de fototerapie etc.

b) **Lampa electrică cu incandescență**, a fost inventată de A. N. Lodighin (1847—1923). El a înlocuit cei doi electrozi cu o singură lamă de cărbune, care, la trecerea unui curent electric, devine incandescentă și

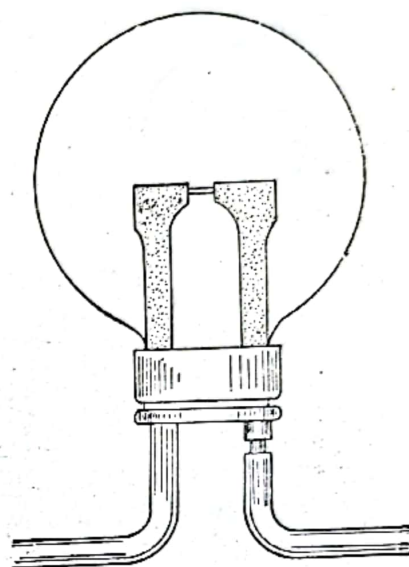


Fig. 411 — Lampa electrică cu incandescență a lui Lodighin.

dă lumină. Introdus într-un balon din care s-a scos aerul, cărbunele incandescent nu se oxidează și nu se consumă (fig. 411).

Lodighin a experimentat invenția sa în 1873 pe o stradă din Petersburg și a perfecționat lampa folosind-o pentru prima oară, în 1875, la iluminarea unui mare magazin. Importanța invenției a fost subliniată de academicianul Vilda, care în raportul său din 26 noiembrie 1874, asupra descoperirii lui Lodighin în domeniul iluminatului electric scria... „Lodighin a reușit să descopere calea spre o utilizare generală a luminii electrice, care după toate probabilitățile va duce la o revoluție completă în sistemul de iluminat....“

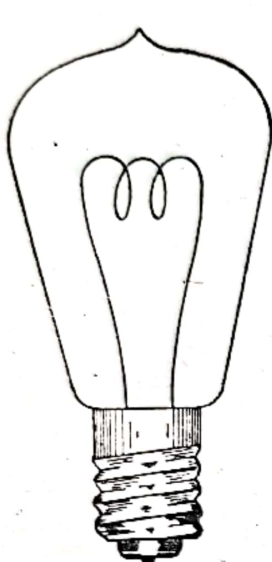


Fig. 412 — Lampa cu filament de cărbune.

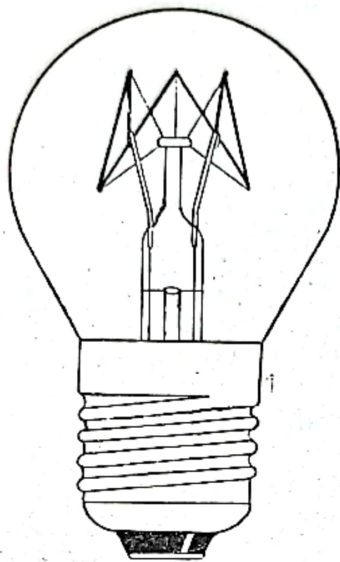


Fig. 413 — Lampa cu filament de wolfram.

T. A. Edison, cunoscând în 1877 lampa inventată de Lodighin, construiește în 1879 o lampă electrică cu incandescență în care lama de cărbune este înlocuită cu un filament de bambus carbonizat (fig. 412).

Lampa cu filament de cărbune avînd cîteva dezavantaje, Lodighin a introdus în 1897 filamentul de wolfram în locul celui de cărbune, construind astfel becul electric de care ne servim, cu mici modificări, și astăzi (fig. 413).

În țara noastră iluminatul cu lămpi electrice cu incandescență a fost introdus în 1884, la București și Timișoara. Rînd pe rînd, în diferite

orașe ale țării, s-au construit uzine electrice și s-au introdus lămpi cu incandescență. La țară, iluminatul electric a fost foarte puțin răspîdit: o statistică din 1941 arată că populația din satele Romîniei, deservite cu energie electrică, reprezintă doar 6% din populația țării.

În anii puterii populare, în cadrul planului de electrificare, iluminatul electric, ca și celelalte folosințe ale electricității, se extinde în orașe și sate într-un ritm foarte rapid.

Pe linia dezvoltării iluminatului, unele inconveniente ale iluminatului cu incandescență au făcut ca cercetările să se orienteze spre iluminatul prin fenomenele luminescente. Astfel, s-a ajuns în prezent la iluminatul fluorescent, care dă o lumină albă și rece. Acest iluminat modern va fi descris la capitolul despre luminescență.

H. NOȚIUNI DE ELECTRICITATE FIZIOLOGICĂ

Legătura dintre curentul electric și organism formînd obiectul de studiu al capitolelor de electrofiziologie, tratarea detaliată a acestor subiecte iese din cadrul studiului elementelor de fizică medicală. Vom da totuși, în cele ce urmează, cîteva noțiuni de electricitate fiziologică, care împreună cu cele de electrogeneză biologică expuse mai înainte vor întregi dialectic cadrul necesar studiului rațional al electrologiei medicale.

1. ÎNCEPUTURILE STUDIULUI ELECTRICITĂȚII FIZIOLOGICE

Studiul acțiunii electricității asupra organismului datează de la mijlocul secolului al XVIII-lea, când s-a construit în orașul universitar Leyden (1746) condensatorul electric, rămas în istoria științelor sub numele de butelia de Leyda.

Fenomenele electrice din țesuturile animale au început a fi studiate în 1786, o dată cu o descoperire istorică făcută de medicul și fiziologul Luigi Galvani (1737—1798) din Bologna: atrinând de un grilaj de fier al unui balcon un preparat nerv-mușchi de broască, cu ajutorul unor cîrlige de cupru care treceau prin nervul lombar, Galvani a observat că atunci cînd, mișcat de vînt, preparatul atingea balconul, se produceau contracții convulsive ca și cum prin acel preparat s-ar fi produs o descărcare a unei puternice butelii de Leyda. Galvani a încercat să explice faptul ca o manifestare a electricității animale, presupunînd că lama metalică închide circuitul între nerv și mușchi, care ar fi încărcăți cu electricitate de semn contrar și ar avea rolul plăcilor unui condensator. Explicația lui Galvani s-a dovedit curînd greșită.

Fizicianul Alessandro Volta, profesor la Pavia (1745—1827), reluînd experiențele lui Galvani, formulează ipoteza că metalele care au participat la acest fel de experiențe erau de două categorii; diferența de potențial apărea la locul de contact între metal și țesutul umed. Descoperirea lui Volta stă la baza generatorilor chimici de curent electric (pila lui Volta), cum și a întregii electrochimii moderne.

În lumina cunoștințelor actuale, explicarea experienței istorice a lui Galvani se poate schematiza astfel: la contactul preparatului nerv-mușchi de broască cu grilajul de fier al balconului s-a închis circuitul cupru-fier-mușchi, acest sistem constituind ceea ce s-a numit mai tîrziu un element galvanic. Curentul generat de acest element străbătînd mușchiul și nervul preparatului, s-a produs contracția convulsivă observată de Galvani.

În continuarea cercetărilor, Galvani face o variantă a experienței amintite, și găsește că contracția musculară se poate realiza și fără conductorii metalici, ci prin simpla aplicare a nervului asupra mușchiului, făcută cu ajutorul unei baghete de sticlă. Această descoperire stă la baza studiului, astăzi vast și aprofundat, al electrofiziologiei.

În cele ce urmează vom arăta succint acțiunea curentului electric asupra organismului, în legătură cu însușirile curentului și cu aplicațiile lui medicale, în diagnostic și terapie.

Numeroșii cercetători care au cultivat acest domeniu timp de peste 150 ani, de la Galvani, și pînă la fiziologii moderni, au stabilit că materia vie are drept caracteristică generală modificarea însușirilor ei în funcție de condițiile de mediu, și care se poate manifesta prin modificarea metabolismului. Această însușire a organismului se numește excitabilitate, iar factorii care provoacă aceste modificări se numesc excitanți.

În dezvoltarea lor, unele țesuturi au căpătat proprietăți specifice (de pildă contractilitatea, secreția etc.). Manifestarea acestei activități specifice se numește excitație.

Pentru a se studia excitabilitatea țesuturilor, se provoacă excitația artificială, printr-un excitant a cărui acțiune se poate varia ușor în intensitate și durată. Atît nervii, cît și mușchii pot fi excitați prin diferite mijloace. Din toate acestea, numai curentul electric dă posibilitatea de a se grada exact forța, durata și forma acțiunii excitante fără a leza țesuturile supuse studiului. De aceea excitabilitatea neuromusculară a fost studiată în special cu ajutorul excitației electrice.

Bazele raționale ale studiului experimental al acțiunii curentului electric asupra mușchilor și nervilor au fost puse pe la mijlocul secolului al XIX-lea prin cercetările fiziologului DuBois-Reymond și apoi ale lui Hermann, care au înregistrat curenții de acțiune cu ajutorul galvanometrelor folosite în studiile de fizică.

DuBois-Reymond a studiat fenomenele electrice din țesuturile vii, descoperite în secolul al XVIII-lea, punând baza studiilor de electrofiziologie (1848).

Pflüger descoperă, la 1859, regulile principale ale acțiunii curentului continuu asupra țesutului nervos și muscular.

2. CURENȚII ELECTROTONICI

Curenții electrotonici iau naștere la trecerea unui curent continuu printr-un nerv sau printr-un mușchi. Electrotonusul constă, pe de o parte, din producerea unui curent electric în afară de zona cuprinsă între electrozi și, pe de altă parte, din modificarea excitabilității și conductibilității în vecinătatea electrozilor aplicați pe nervul sau mușchiul examinat.

Aplicând pe sciaticul de broască doi electrozi nepolarizabili *A* și *C* din circuitul unei baterii galvanice (fig. 414) și stabilind curentul foarte încet, nervul nu va fi excitat. Cercetând zona învecinată, cu ajutorul altor doi electrozi nepolarizabili, în circuitul cărora avem numai un galvanometru sensibil, dar nici o sursă de curent, se constată de o parte și de alta a zonei *AC* existența unor curenți de același sens cu curentul din *AC*. Aceștia sînt curenții electrotonici. De partea anodului *A* circulă curentul anelectrotonic, iar de partea catodului *C*, curentul catelectrotonic; acesta din urmă este mai slab decît primul.

Curenții electrotonici au proprietăți interesante, care pot fi ușor puse în evidență:

a) **Curentul electrotonic are totdeauna sensul curentului polarizant.** În adevăr, schimbînd polaritatea curentului aplicat, galvanometrele din circuitele electrotonice arată o schimbare de sens a curenților electrotonici.

b) **Intensitatea curenților electrotonici crește cu intensitatea curentului polarizant.** Mărind sau micșorînd, cu ajutorul unui reostat, intensitatea curentului debitat de elementul galvanic, se mărește, respectiv se micșorează în același timp intensitatea curenților electrotonici înregistrați de galvanometrele *G* și *G'*.

c) **Intensitatea curenților electrotonici este maximă în vecinătatea segmentului polarizat.** Experiența arată că dacă ne apropiem de segmentul de nerv cuprins între electrozii *A* și *C*, intensitatea curenților electrotonici crește;

dimpotrivă, dacă ne depărtăm cu circuitele exploratoare, intensitatea scade, astfel că la o distanță de cîțiva cm de zona polarizată curenții electrotonici dispar.

d) **Curenții electrotonici se pot anula practicînd o ligatură între regiunea explorată și cea polarizată, de exemplu între anodul *A* al circuitului excitator și electrodul vecin al circuitului de explorare; în acest caz se**

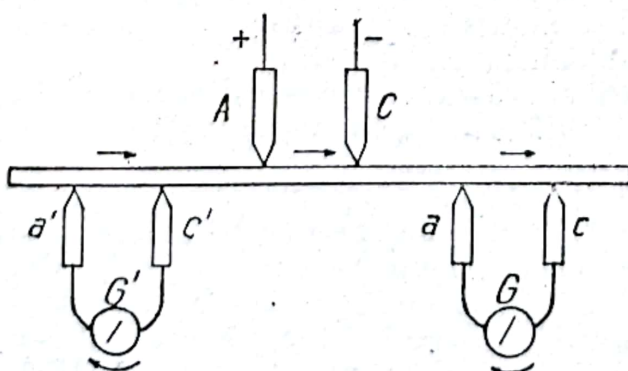


Fig. 414 — Curenți electrotonici.

observă o imediată suprimare a deviației galvanometrului din acest din urmă circuit. Se poate de asemenea micșora intensitatea curenților electrotonici prin aplicarea unor substanțe anestezice.

e) Curenții electrotonici pot fi produși de curenți electrici instantanei.

f) Se produce o inversare de foarte scurtă durată a sensului curenților electrotonici întrerupând curentul continuu; imediat după această inversare se constată dispariția curenților electrotonici.

g) Curenții electrotonici modifică excitabilitatea nervului în regiunile prin care trec: catelectrotonusul mărește excitabilitatea, anelectrotonusul o micșorează.

3. STIMULAREA ELECTRICĂ A NERVELOR ȘI A MUȘCHILOR

a) Stimularea. Aplicând pe nervul sciatic de broască, ce și-a păstrat legătura cu mușchiul său gastrocnemian, doi electrozi nepolarizabili (fig. 415) aflați în circuitul unei baterii de elemente galvanice sau de acumulatori la fiecare închidere a circuitului se produce o stimulare (excitație) electrică; aceasta se pune în evidență printr-o contracție a mușchiului, adică printr-o zvicnire. Modificând intensitatea curentului cu ajutorul unui reostat, se observă că contracțiile se produc numai la o anumită intensitate a curentului; curenții prea slabi nu produc stimularea. Intensitatea de curent care produce cea mai slabă contracție a mușchiului se numește *intensitate liminară*; ea exprimă *pragul excitației*.

b) *Legea acțiunilor polare*. Se poate determina regiunea de unde pleacă stimularea electrică, suprimând mai întâi excitabilitatea nervului în regiunea interpolară AC cu ajutorul citorva picături de soluție de amoniac. Excitația se va produce acum în mod diferit, în funcție de sensul curentului din circuitul galvanic.

În cazul curentului ascendent (care se ridică de la mușchi spre nerv), închizând circuitul, se observă că nu se produce nici o zvicnătură; excitația care ia naștere în aceste condiții nu se poate propaga pînă la mușchi, fiind oprită în regiunea interpolară. Se deduce de aici că, la închiderea circuitului, excitația pornește de la catod. La deschiderea circuitului, mușchiul răspunde excitației: se produce o contracție. Excitația nu poate porni decît de la anod, căci numai în acest caz nu întâlnește regiunea interpolară, unde excitabilitatea este suspendată.

Considerînd acum cazul curentului descendent (care coboară de la nerv spre mușchi) (fig. 416) și repetînd experiența descrisă mai înainte, se constată că, dacă închidem circuitul, mușchiul răspunde excitației, ceea ce dovedește că excitația nu a întilnit regiunea interpolară, adică ea pornește de

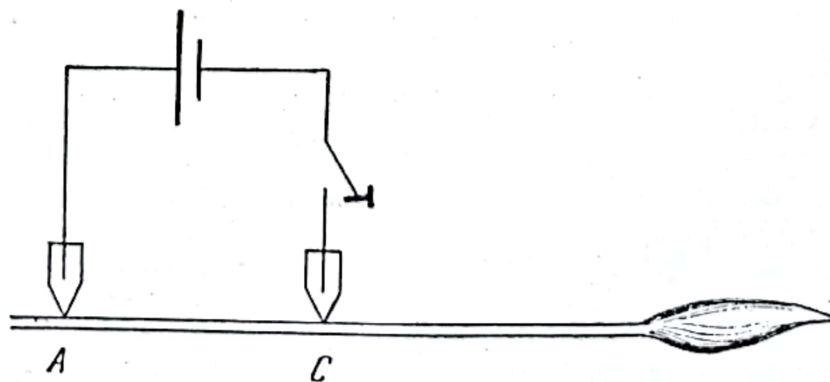


Fig. 415 — Stimularea electrică.

la catod ca și în cazul curentului ascendent. Închizînd circuitul, mușchiul nu mai răspunde excitației; excitația s-a produs deci la anod, dar nu a putut ajunge la mușchi, fiind oprită în regiunea interpolară.

Rezultatele acestor experiențe sînt cuprinse în legea acțiunilor polare descoperită de Chauveau și Pflüger în același timp: *excitația pleacă de la catod la închiderea circuitului și de la anod la deschiderea lui.*

c) **Legile contracțiilor.** Reluînd experiențele descrise mai înainte, însă fără a mai suspenda excitabilitatea nervului în regiunea interpolară, se observă că, în acest caz, excitația care se produce prin *închiderea și deschiderea*

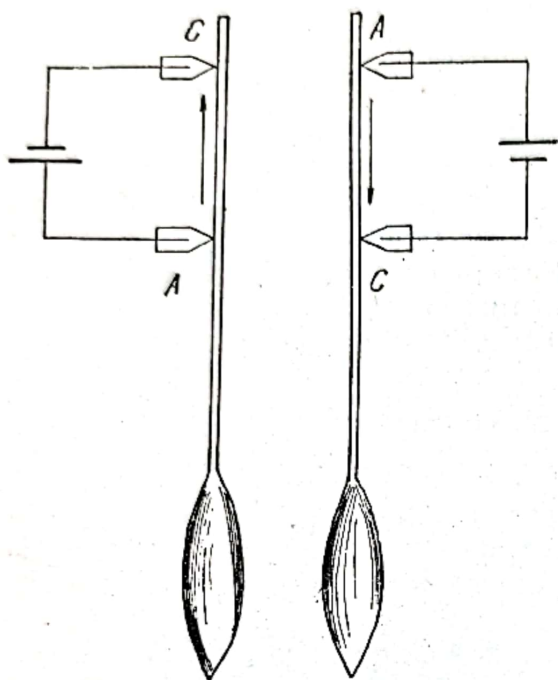


Fig. 416 — Determinarea locului de unde pornește stimulul.

depinde de *intensitatea și de sensul* curentului. Pentru un curent de intensitate mijlocie, fie că este ascendent, fie că este descendent, în sensul stabilit mai înainte, fiecare manevră a întrerupătorului produce cîte o contracție: se obține astfel o contracție la închiderea circuitului și una la deschiderea lui.

Pentru curenții mai slabi, ascendenți sau descendenți, contracția se produce numai la închiderea circuitului; pentru curenții mai puternici, contracția apare la închiderea circuitului, cînd curentul este descendent, și la deschiderea circuitului cînd curentul este ascendent.

Aceste rezultate au fost obținute de Pflüger; ele formează *legile contracțiilor sau legile lui Pflüger.*

d) **Condițiile stimulării.** Condițiile în care ia naștere stimularea

electrică a nervilor și mușchilor au fost studiate de numeroși cercetători. Se știa de mult, din experiențe sporadice, că se produce o zvîcnire ori de cîte ori facem să varieze brusc curentul care străbate, fie organismul întreg, fie numai un nerv sau un mușchi.

Ținînd în mîini cei doi poli ai unei baterii de elemente galvanice, percepem o senzație caracteristică; dacă unul din poli este ținut într-o mînă, iar cealaltă mînă o deplasăm de-a lungul conductorului neizolat, care formează circuitul, de la un pol la celălalt, nu simțim însă nimic. Se obține o excitație electrică puternică atunci cînd oprim circulația curentului sau cînd restabilim circuitul.

Experiența îndelungată în acest domeniu arată că regimul constant al curentului galvanic nu intervine în producerea zvîcnirii, ci intervine numai partea variabilă de la început (închidere) și de la sfîrșit (deschidere, rupere). Dar și acest regim variabil nu produce zvîcnirea decît dacă variația este foarte rapidă. În adevăr, dacă în loc de a provoca o variație bruscă de intensitate cu ajutorul întrerupătorului facem să crească progresiv dar încet, curentul cu ajutorul unui reostat cu cursor, nu obținem o contracție musculară, chiar dacă utilizăm un curent de intensitate mai mare.

S-a stabilit astfel experimental că stimularea depinde de viteza cu care variază intensitatea curentului galvanic; ea este cu atît mai puternică cu cît curentul are variația mai rapidă.

Această lege, descoperită în urma a numeroase cercetări experimentale, poartă numele descoperitorului ei, fiziologul DuBois-Reymond (1848).

e) **Stimularea electrică prin condensatori.** Stimularea electrică a fost cercetată luându-se ca perioadă variabilă de excitație și durata descărcării unui condensator.

Pentru a se obține o contracție musculară prin descărcarea unui condensator, în afară de o anumită valoare a capacității acestuia, și deci a cantității de electricitate strinsă în condensator, trebuie să existe și o anumită diferență de potențial între plăcile lui, necesară atingerii pragului excitației. S-a cercetat, la om, variația diferenței de potențial a pragului de excitație cu variația capacității condensatorului și s-a constatat că mărinđ succesiv această capacitate trebuie să se micșoreze diferența de potențial a pragului de excitație.

În 1892, fizicianul danez Hoorweg stabilește relația următoare între potențialul liminar V care corespunde minimului de excitație și capacitatea c a condensatorului

$$V = a + \frac{b}{c},$$

unde a și b sînt două constante, a căror valoare depinde de condițiile în care se lucrează. Această relație poartă numele de *legea lui Hoorweg*; ea arată că, la stimularea prin condensatori, potențialul electric liminar variază în raport invers cu capacitatea electrică a condensatorului.

4. CRONAXIA

În domeniul dependenței dintre stimulare și variația curentului, rezultatele obținute de numeroși cercetători au fost contradictorii. Nu mai departe, legea Hoorweg contrazice legea lui DuBois-Reymond, după care excitația este cu atît mai puternică cu cît variația curentului este mai rapidă. În afară de viteza variației, trebuie să se considere și durata trecerii curentului. Aceasta a făcut ca în 1909 să se definească o nouă caracteristică de excitabilitate, numită *cronaxie*. Prin definirea cronaxiei s-a stabilit o constantă de excitabilitate a nervilor și mușchilor (L. Lapicque).

Înainte de definirea acestei caracteristici a excitației, fiziologul Vvedenski a definit „labilitatea”, despre care Lapicque spunea la Congresul internațional de fiziologie din Leningrad (1935): „... trebuie să fac dreptate lui Vvedenski (scuzîndu-mă că n-am făcut-o mai curînd) a cărui „labilitate” era pînă la un anumit punct o formă de cronaxie”...

Excitabilitatea electrică a nervilor și mușchilor se caracterizează prin doi parametri:

a) **reobaza** este definită ca pragul fundamental, adică *intensitatea minimă a unui curent continuu, care produce contracția musculară* cu o închidere bruscă și prelungită a curentului;

b) **cronaxia** unui mușchi este timpul minim de producere a contracției musculare (pragul), utilizînd un curent cu o intensitate dublă ca a reobazei.

Cu cît un nerv sau un mușchi are o cronaxie mai mare, cu atît este mai greu de excitat, curentul trebuie să-l străbată mai mult timp pînă se obține pragul de excitație și deci cu atît are o excitabilitate mai mică. Excitabilitatea electrică variază astfel în sens invers cu cronaxia.

Cronaxia permite explorarea perfecționată a integrității neuro-musculare: se ține seama, nu numai de intensitatea curentului utilizat, dar și de timpul necesar trecerii curentului pentru a se obține contracția musculară.

Cronaxia constituie un test de viteză funcțională, independentă de condițiile de experimentare. Totuși, există un factor fizic, și anume temperatura, care influențează cronaxia tot așa cum modifică și viteza altor procese biologice. Temperatura mai ridicată mărește valoarea reobazei și micșorează cronaxia, în timp ce o coborîre a temperaturii coboară reobaza și ridică valoarea cronaxiei; variația este de 1,7 ori la fiecare 10° în jurul temperaturii obișnuite.

În stare normală există un izocronism între nerv și mușchi, cronaxia nervului și a mușchiului pe care-l acționează fiind sensibile egale.

Pentru măsurarea cronaxiei s-au construit diferite tipuri de aparate electromedicale, numite cronaximetre.

În domeniul de studiu și aplicare a cronaxiei, legat de dezvoltarea electrofiziologiei și al aplicațiilor electricității fiziologice, au adus contribuții importante fruntași ai medicinei românești: Gh. Marinescu, acad. A. Kreindler, I. Nițescu, A. Radovici, O. Sager ș. a.

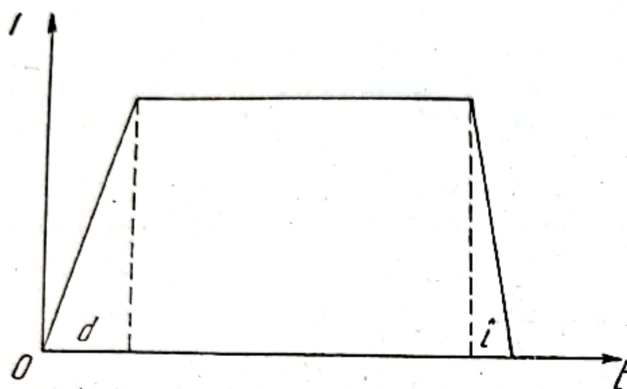


Fig. 417 — Graficul curentului continuu ($d > i$).

I. APLICAȚIILE MEDICALE ALE CURENTULUI GALVANIC

În aplicațiile medicale, curentul continuu obținut prin elementele galvanice, acumulatori sau chiar prin redresarea curentului alternativ de rețea este cunoscut sub numele de *curent galvanic*.

Curentul galvanic este un curent continuu produs de o sursă de electricitate a cărei forță electromotoare este constantă și are tot timpul același sens.

Curba curentului galvanic reprezintă deci o linie dreaptă, paralelă cu abscisa, care este axa timpurilor. Curentul nu se stabilește și nici nu dispare instantaneu; partea de la început a curbei este ascendentă, pornind de la zero și atingînd valoarea constantă a curentului, adică intensitatea maximă (fig. 417). De asemenea, cînd întrerupem curentul, oricît de mică ar fi inerția, suprimarea curentului nu este bruscă; ramura descendentă a curbei nu este deci verticală, ci merge oblic pînă la valoarea zero; panta ei este însă mai mare decît la stabilirea curentului. Perioada variabilă de începere a circulației curentului este deci mai mare decît perioada variabilă de încetare a ei (ruperea circuitului).

În unele aplicații, curentul este întrerupt sau inversat la intervale regulate (ritmat) sau neregulate.

1. INSTALAȚIA MEDICALĂ DE CURENT GALVANIC

O instalație medicală de curent galvanic trebuie să dispună de o forță electromotoare de 60—80 volți și de o intensitate de 150—200 mA. Trebuie să mai aibă un număr de accesorii: reductori de potențial, reostate, inversori, electrozi etc.

a) **Reostate.** La aparatele electromedicale, reglarea intensității curentului se face cu ajutorul reostatelor cu manetă ori cursor. Principiul reostatelor este cuprins în însăși legea lui Ohm, potrivit căreia intensitatea curentului variază în raport invers cu rezistența circuitului. Cum această rezistență variază în raport direct cu lungimea conductorului, se lasă curentul să străbată o porțiune mai lungă sau mai scurtă de fir conductor; variind rezistența circuitului, modificăm în același timp, după voie, intensitatea curentului.

Reostatul cu cursor (fig. 418) este alcătuit dintr-un fir metalic înfășurat pe un cilindru de material electroizolant (porțelan). Un capăt al firului duce la o bornă fixată pe suportul aparatului. Lângă cilindru, de porțelan se găsește o bară metalică, pe care alunecă un cursor, ce stă în contact permanent cu spirele firului. Bara metalică este pusă în legătură cu cea de-a doua bornă a aparatului.

Deplasând cursorul de-a lungul barei metalice, introducem în circuit un număr mai mare sau mai mic de spire, ceea ce mărește sau micșorează rezistența pe care o întâmpină curentul la trecerea lui prin circuit. Dacă se trece prin reostat un curent mai puternic decât cel indicat pe aparat, ca valoare maximă admisibilă, conductorul se încălzește și se topește.

Reostatul cu manetă, reprezentat schematic în fig. 419, funcționează pe același principiu ca reostatul cu cursor; el se deosebește de primul numai prin modul de a introduce în circuit o rezistență mai mică sau mai mare. Firul metalic rezistent are formă de spirale independente, legate între ele prin plăci sau butoni (ploturi) de metal cu rezistență foarte mică, neglijabilă.

Manevrând maneta, care are un mâner izolator și care este legată de unul din capetele circuitului, introducem în circuit atâtea spirale de cîte este nevoie pentru a avea o anumită rezistență, și deci intensitatea necesară.

b) **Înterupătorul de curent.** Cu acest aparat putem întrerupe și stabili ușor și rapid curentul într-un circuit. Întrerupătoarele au forme diferite, toate sînt însă construite pe același principiu. Extremitățile circuitului se leagă de două piese metalice care, cînd vrem să închidem circuitul, sînt aduse în contact prin apăsare pe un buton izolator. Presiunea încetînd, piesa metalică revine la poziția ei inițială cu ajutorul unui resort, și circuitul este din nou întrerupt.

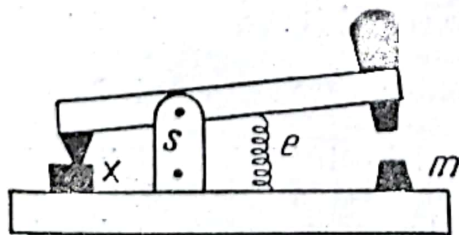


Fig. 420 — Întrerupător Morse.

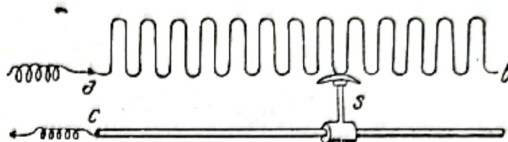


Fig. 418 — Reostat cu cursor (schemă).

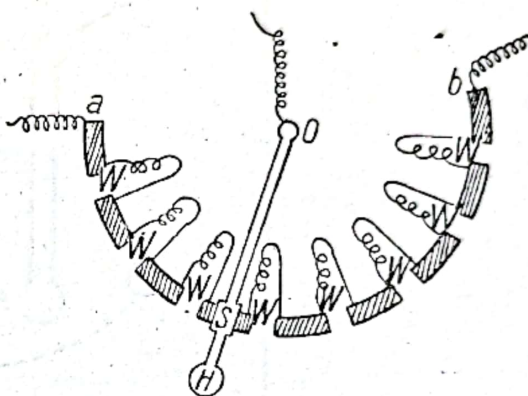


Fig. 419 — Reostat cu manetă.

De multe ori se utilizează întrerupătorul folosit în telegrafie și care este cunoscut sub numele de *întrerupătorul Morse*. Acest aparat (fig. 420) este conectat în circuit astfel încît una din extremitățile circuitului este legată de piesa metalică *m*, iar cealaltă de suportul metalic *S* al pirghiei întrerupătorului.

Pentru determinări electrometrice de pH, de conductibilitate etc. acest întrerupător mai cuprinde o a treia bornă pentru electrometrul capilar, după cum vom vedea mai departe.

Industria electrotehnică construiește numeroase tipuri de întrerupătoare, din care se alege cel mai potrivit pentru aparatul electromedical deservit.

c) Inversorii de curent sînt utilizați în cercetările de electrofiziologie, în electroterapeutică și ori de cîte ori este necesar să inversăm sensul curentului într-un circuit de utilizare.

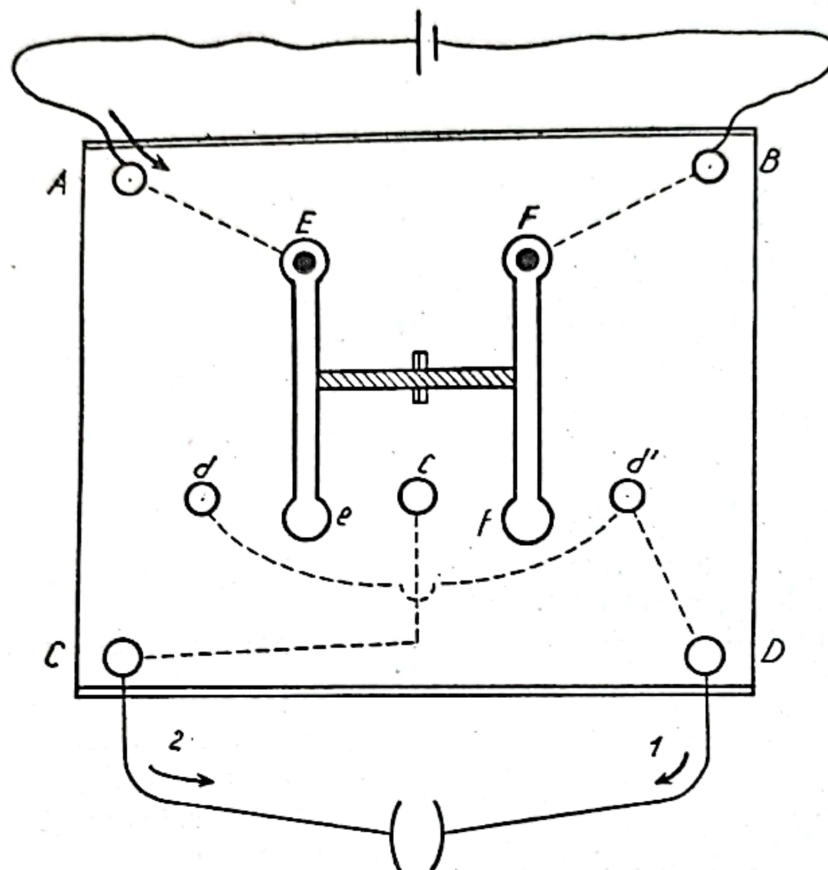


Fig. 421 — Întrerupător inversor.

Unul din cei mai simpli inversori, pe al cărui principiu funcționează cele mai multe dispozitive similare, este următorul: pe o planșetă de lemn sînt fixate două bare metalice Ee și Ff , mobile în jurul punctelor E și F . Magneta de ebonită M face ca cele două bare să se miște numai solidar (fig.421). Curentul este furnizat de o sursă galvanică prin bornele A și B , iar de bornele C și D este legat circuitul de utilizare. Aceste din urmă borne sînt legate de trei contacte d, c, d' , cum se vede în figură. Prin deplasarea simultană a celor două bare ale inversorului, ele se pot rezema cu extremitățile e și f , fie de contactele d , și c (și în acest caz curentul circulă în circuitul de utilizare în sensul 1), fie că sînt conectate de contactele c și d' (în care caz curentul are sensul 2 în circuitul de utilizare). Este deci suficientă o deplasare a perechii de lame metalice pe contactele dc sau $d'c$ pentru a avea curentul, fie într-un sens, fie în celălalt.

Inversorii sînt în același timp și întrerupători, fiindcă pot fi opriți în poziția intermediară între contacte, întrerupînd astfel circuitul.

d) Electrozii. Electrozii care permit aplicarea curentului galvanic fac legătura dintre corp și circuitul electric de utilizare.

Acești electrozi sînt de forme și mărimi diferite, adaptate scopului; toți electrozii au o parte metalică sau de cărbune învelită într-o țesătură hidrofilă, o bornă metalică la care este adusă una din extremitățile circuitului și un miner izolator.

Deoarece nu se pot aplica electrozi de metal pe piele fără ca țesuturile subiacente să sufere, se folosesc adesea plăci metalice subțiri avînd o parte acoperită cu o țesătură spongioasă, care poate fi îmbibată cu o soluție conductoare. Acești electrozi au forme și dimensiuni variate (fig. 422).

Electrozii care trebuie aplicați pe regiuni mici au formă de tampon sau de butoni. Electrozii au uneori formă de ace, așa cum am văzut la electroliza biologică sau de băi (pentru ionogalvanizare).

e) **Surse moderne de curent galvanic.** În electrologia medicală se folosește în prezent, ca sursă de curent continuu, curentul de la rețea. În cele mai multe localități, alimentarea cu energie electrică fiind făcută în curent alternativ acesta este redresat prin diferite mijloace pe care ni le pune la dispoziție tehnica modernă: redresori cu tuburi electronice, redresori cu seleniu, cu oxid cupros ș.a. Redresorii dau un curent continuu aproape riguros constant. Montajele moderne cu redresori înlătură toate inconvenientele întreținerii unor surse de curent continuu alcătuite din elemente galvanice sau acumulatori.

Descrierea amănunțită a redresorilor va fi făcută la studiul curentului alternativ.

2. ELECTRODIAGNOSTICUL

Una din aplicațiile principale ale curentului galvanic în medicină este electrodiagnosticul.

În scopul realizării unor elemente de diagnostic se utilizează efectele curentului galvanic din perioadele variabile.

În electrodiagnostic este folosită explorarea integrității neuro-musculare cu ajutorul curentului electric. Se folosește un electrod indiferent sub formă de placă de mare suprafață, învelită într-o țesătură hidrofilă, îmbibată cu soluție cloruro-sodică izotonică și așezată într-o regiune centrală a organismului (lombe sau regiunea interscapulară) și un electrod activ în formă de buton, care se așază pe punctul motor al mușchiului pe care-l explorăm. Explorarea începe cu partea sănătoasă a corpului, simetrică cu cea bolnavă, pentru a se stabili pragul excitației, adică minimul de intensitate a curentului galvanic cu care putem obține o contracție musculară. Trecînd apoi electrodul activ pe punctul motor simetric, în partea bolnavă, se observă prin comparație tulburările calitative și cantitative.

Electrodiagnosticul este un examen neuro-muscular prețios. În acest examen se ține seama numai de intensitatea curentului utilizat. O metodă de explorare perfecționată a integrității neuro-musculare o constituie cronaxia, așa cum am arătat.

O aplicație interesantă a curentului galvanic o constituie posibilitatea de a se diagnostica prin metoda „reflexului psihogalvanic” anumite stări afective, în care se produce o variație în rezistența electrică a organismului subiectului. Dacă trecem un curent galvanic cu tensiunea de 3 V prin organism, acesta arată o rezistență inițială de aproximativ 20 000Ω dacă subiectul suferă o excitație psihică bruscă (surpriză), galvanometrul din circuit arată o micșorare a rezistenței inițiale a organismului. Metoda poate fi utilizată în detectarea nevrozelor și psihozelor, în determinarea aptitudinilor pentru anumite profesii etc.

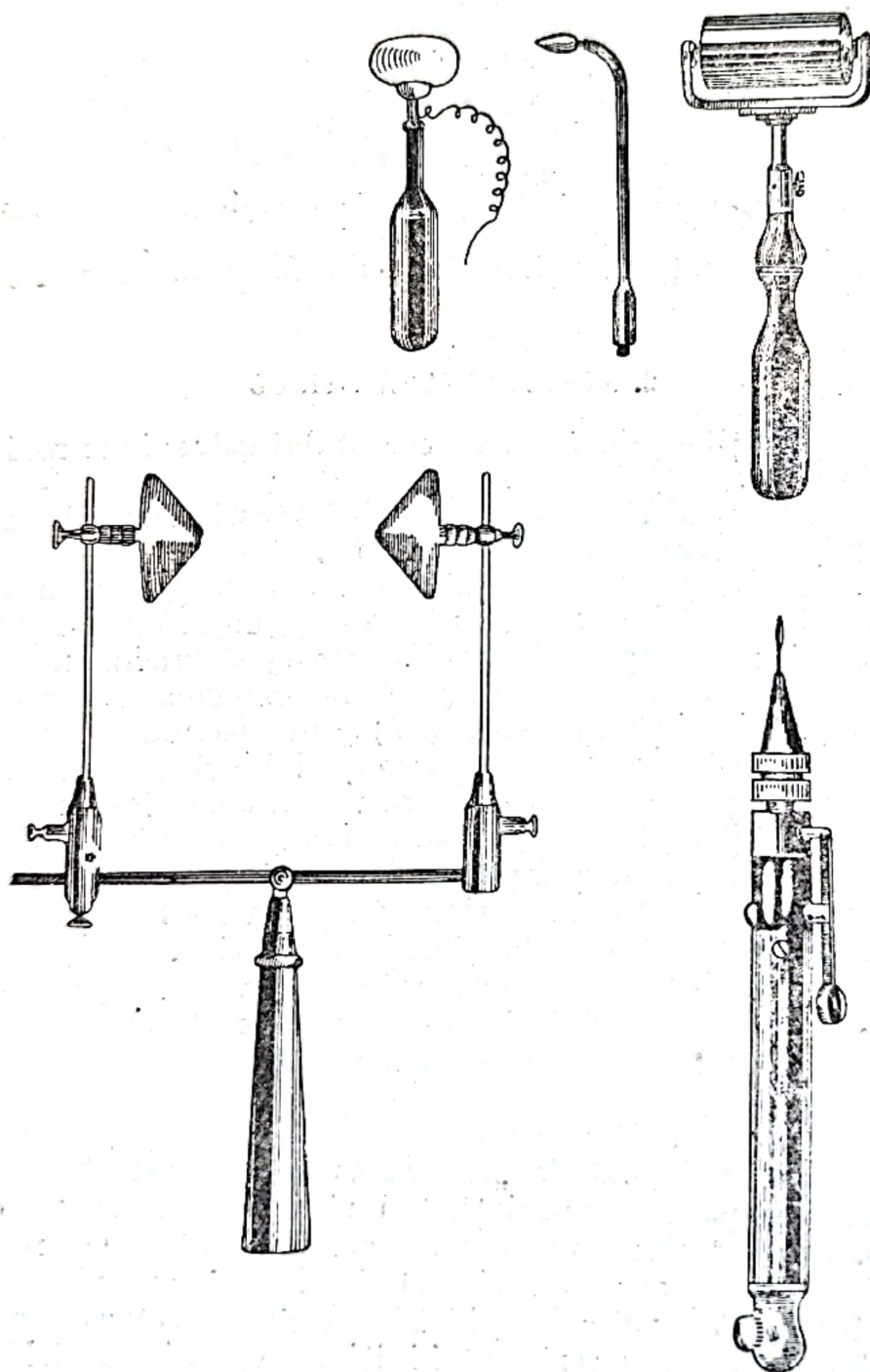


Fig. 422 — Electrozi de diferite forme pentru aplicații medicale de electricitate galvanică.

3. TRATAMENTUL GALVANIC

În afară de aplicațiile terapeutice descrise în paragrafele privind proprietățile fizico-chimice ale curentului continuu (electroliza medicală, ionoforeza) și proprietățile termice (galvanocauterizarea), curentul galvanic este folosit în numeroase alte aplicații terapeutice.

În electrologia medicală, se înțelege prin galvanizare trecerea curentului electric continuu prin organism. Aceasta se poate face prin două procedee: prin aplicații monopolare și bipolare.

a) **Aplicații bipolare.** Dacă regiunea unde se aplică curentul galvanic este destul de întinsă, se poate folosi metoda bipolară, care constă din așezarea a doi electrozi de dimensiuni aproximativ egale, legați fiecare de un pol al sursei de curent galvanic (fig. 423). În acest caz, liniile de forță ale câmpului electric se răspîndesc în cprofundime și se readună la nivelul electrozilor. Efectul curentului galvanic se produce mai ales în vecinătatea electrozilor, unde densitatea electrică este maximă.

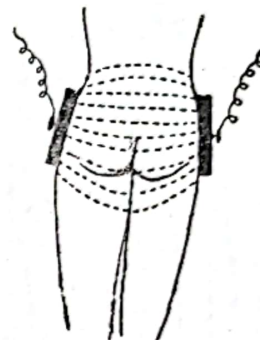


Fig. 423 — Aplicație bipolară.

b) **Aplicații monopolare.** Pentru aplicarea curentului galvanic pe o suprafață foarte redusă, se folosește metoda unipolară. În acest caz, electrodul cu suprafață mare este electrod indiferent și este așezat la distanță de locul de tratat, iar pe acest loc se așază electrodul de dimensiuni reduse (ac, tampon, buton, după necesități); electrodul de dimensiuni reduse ia numele de electrod activ. În fig. 424 este redată repartitia liniilor de forță în cazul aplicației monopolare. Densitatea electrică este maximă în punctul de aplicație a electrodului activ; efectele galvanizării vor fi deci mai accentuate în regiunea din jurul acestui electrod. Astfel, aplicînd un electrod indiferent în regiunea sacrală și unul activ în regiunea dorsală, liniile de forță au forma din fig. 425.

La tratarea problemei repartitiei energiei electrice în corp, trebuie să avem în vedere că corpul omenesc nu este un conductor omogen, în sensul fizic, așa că o calculare precisă a distribuției și o construcție geometrică perfectă a liniilor de forță nu sînt posibile; acestea se fac cu aproximație și numai prin încercări, cu ajutorul aparatelor de măsurat, care folosesc circuiți derivați în afară.

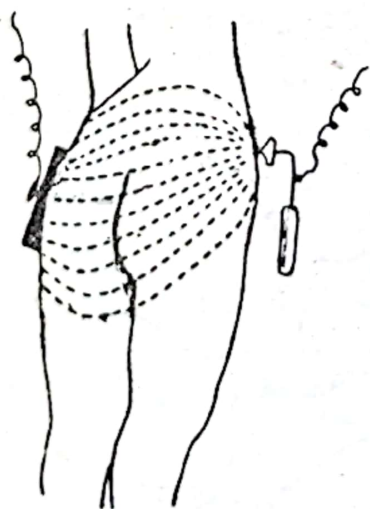


Fig. 424 — Aplicație monopolară.

c) **Efectele terapeutice ale galvanizării.** Fără a examina în amănunțime terapia cu ajutorul curentilor galvanici, trebuie să arătăm unele aplicații ale acestor curenți, ca o consecință a variatelor efecte ale curentului continuu asupra organismului.

În general, efectele aplicațiilor galvanice sînt analgezice și circulatorii. Eficacitatea tratamentului prin curent galvanic neîntrerupt, în cazul atrofiilor musculare sau al leziunilor nervoase, este în legătură cu faptul demonstrat experimental că acest curent provoacă o intensificare accentuată a schimburilor respiratorii intratisulare și are o acțiune favorabilă asupra mușchilor paralizați temporar printr-o leziune nervoasă.

Stimularea galvanică ne permite să luptăm contra atrofiei care atinge un organ a cărui funcție este suspendată și înlesnește circulația în mușchi, asigurând astfel nutriția acestui organ în condiții mai bune; astfel, dacă se taie cei doi nervi sciatici ai unui cobai și se galvanizează zilnic numai unul din cele două membre paralizate, se constată că tulburările atrofice evoluează mai încet în membrul tratat decât în cel rămas în repaus. Escarele și atrofia musculară apar mai puțin repede în partea tratată cu electricitate galvanică.

Tratamentul galvanic poate fi făcut, fie sub formă de curent continuu, fie sub formă de curenți întrerupți care produc contracții, sau de curenți cu variație lentă, care prezintă avantajul de a provoca o contracție selectivă a mușchilor bolnavi.

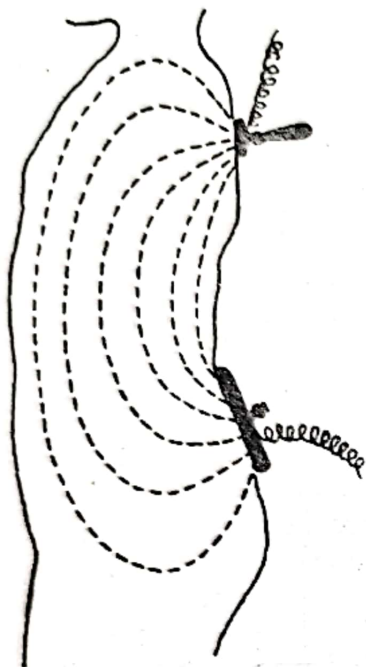


Fig. 425 — Linii de forță în aplicațiile monopolare.

Galvanizarea se poate face longitudinal sau transversal. În aplicarea *longitudinală* a curenților galvanici, intensitatea curentului folosit depinde de suprafața electrozilor, iar eficacitatea tratamentului este în funcție de intensitatea curentului; de obicei, curentul este de 15—50 mA. Galvanizarea *transversală* care se face cu electrozi, de suprafață mare, aplicați de fiecare parte a regiunii de tratat, permite aplicarea unei intensități mai mari: 200—300 mA. Fig. 426 reprezintă aplicarea unui electrod facial.

Printre aplicațiile galvanizării, menționăm tratamentul atoniilor mușchilor netezi (constipație), tratamentul obstrucției intestinale, tratamentele ginecologice. Galvanizarea mai este folosită în tratamentul reumatismului muscular, reumatismului articular subacut, reumatismului cronic.

Curentul galvanic produce efecte importante asupra *nervilor*. Aplicând pe corp doi electrozi și trecând un curent galvanic moderat, se percepe în regiunea electrozilor, mai ales sub catod, o senzație de căldură și pișcături. La trecerea curentului un timp mai îndelungat, aceste senzații se atenuează, mai ales la polul pozitiv, ceea ce se explică prin fenomenul de adaptare a nervilor la o excitație mai îndelungată. Curentul galvanic influențează nervii gustativi și salivari și determină o creștere a secreției salivare.

Vertijul voltaic. Aplicând unui subiect normal electrozii pe cap, în regiunea temporală (fig. 427) sau mastoidiană și trecând un curent de 2—5 mA, se produce un fenomen cunoscut în clinică sub numele de *vertij voltaic*; capul subiectului cade de partea anodului. În cazuri anormale se observă o hipoexcitabilitate și o înclinare anormală, care este de fapt o rezistență la vertij; înclinarea capului nu se face în mod normal. Intensitatea curentului care produce vertijul anormal atinge 10 și chiar 12 miliamperi. Aceasta indică adesea o mărire a presiunii lichidului cefalorahidian.

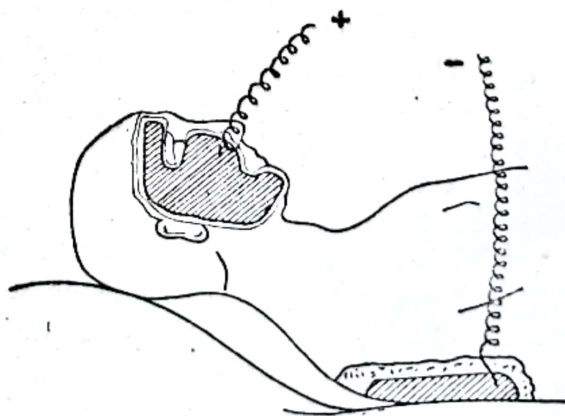


Fig. 426 — Electrod facial (aplicație bipolară).

Electroșocul. Cerletti a introdus în 1937 electroșocul în terapeutică; metoda s-a răspândit, fiind găsită superioară metodelor chimioterapice. Excitarea este însă bruscă, șocul electric al centrilor nervoși putând da contracții musculare foarte puternice, care pot avea drept consecințe chiar fracturi, dislocări etc; de aceea, aparatele noi de electroșoc sînt construite astfel încît tensiunea poate fi modificată treptat de la 0 la 150 V, iar durata șocului poate varia și ea treptat de la 0,1 la 1,5 s, în trepte de cîte 0,1 s. Se aplică electrozi temporali (fig. 428).

Electroșocul este aplicat în practica psihiatrică.

Electronarcoza. Metoda este analogă electroșocului, și de multe ori se face cu aceleași aparate, care pot fi reglate pentru una sau alta din aceste două metode. În electronarcoză, curentul este reglat timp de 3 secunde de la 0 la 250 mA. Se evită astfel contracții musculare. Metoda a fost aplicată cu succes în schizofrenie (Paterson).

Electrosomnul. Curentul galvanic întrerupt de 100—200 de ori pe secundă și stabilit după fiecare întrerupere numai pentru un interval foarte mic (o miime de secundă), la o tensiune de 6—14 volți, produce un somn analog celui pe care-l produc anestezicele.

Experimentînd pe animale și mărind progresiv intensitatea, se constată că animalul devine rigid, apoi cade pe o parte, prezentînd un somn liniștit, însoțit de anestezie generală. Dacă se depășește însă o limită, dificil de respectat, se poate produce o electrocutare și animalul să nu-și mai revină (fig. 429). De aceea, metoda nu a fost aplicată la om.

În ultima vreme se produce electrosomnul cu ajutorul impulsurilor realizate ca și pentru electroșoc și electronarcoză, cu dispozitive cu tuburi electro-

nice. Frecvența acestor impulsuri este mică și intensitatea curentului este de ordinul microamperilor.

Efecte sedative. Se fac aplicații de curent galvanic folosind efectele sale sedative: efectul sedativ este datorit faptului că trecerea curentului continuu micșorează excitabilitatea nervoasă în vecinătatea polului pozitiv, prin fenomenul de electrotonus, pe care l-am descris. Se tratează astfel nevralgiile



Fig. 427 — Vertijul voltaic (capul cade în direcția polului pozitiv, iar privirea este îndreptată spre polul negativ).

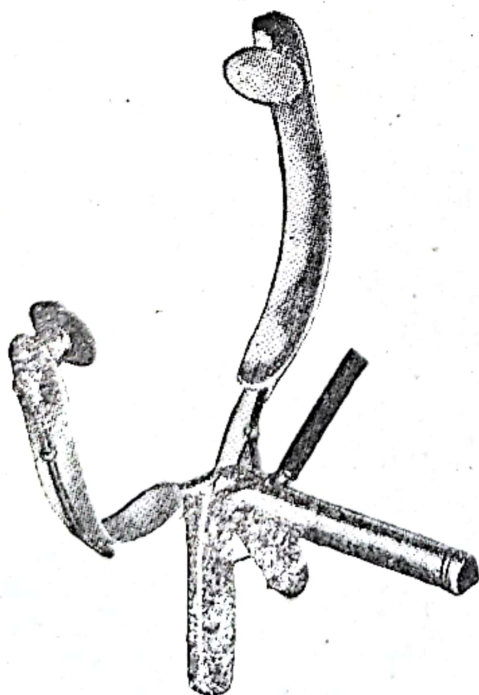


Fig. 428 — Electrozi temporali pentru electroșoc.

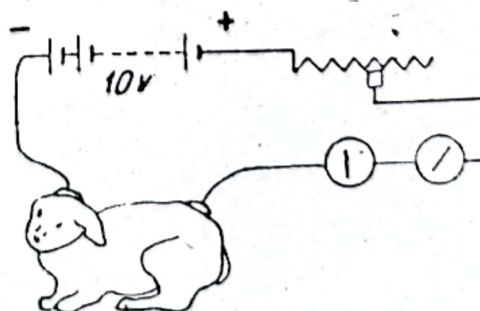


Fig. 429 — Dispozitiv pentru somn electric.

faciale așezînd pe partea dureroasă a feței subiectului un electrod întins spongios, cu două deschideri pentru ochi și gură. Acest electrod, pe care l-am descris mai înainte (fig. 426), și care acoperă o jumătate de față, este legat cu polul pozitiv al unei surse de curent continuu și cu ajutorul unui electrod indiferent se închide circuitul; se trece un curent care poate atinge chiar 60—100 mA; ședințele sînt lungi, de 30—40 de minute.

III. CURENTUL ALTERNATIV

A. CURENȚII DE INDUCȚIE

1. INDUCȚIA ELECTROMAGNETICĂ

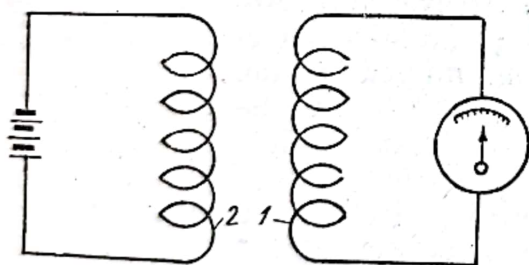
Într-un circuit închis, dacă variază fluxul de inducție magnetică ce trece prin suprafața limitată de circuit, apare un curent electric, numit *curent de inducție*. Fenomenul se numește inducție electromagnetică și a fost descoperit de Faraday în 1831.

Variația fluxului magnetic inductor se poate obține în diferite moduri.

Astfel, dacă un conductor în mișcare intersectează un cîmp magnetic fix ori dacă un cîmp magnetic în mișcare intersectează un conductor fix, iau naștere în acest conductor curenți de inducție (fig. 430).

De asemenea, dacă depărtăm sau apropiem circuitul închis 1 prin care nu trece curent, de circuitul electric 2 prin care trece curent electric, se va induce în circuitul 1 o forță electromotoare de inducție, care circulă într-un sens la depărtarea circuitului inductor și în sensul opus la apropierea lui.

La fel se constată apariția curenților de inducție în circuitul 1, dacă ambii conductori nu se deplasează, însă mărim sau micșorăm intensitatea curentului în circuitul 2, ori dacă închidem și deschidem circuitul 2.



Circuitul parcurs de curent se numește circuit inductor sau *circuit primar*, iar cel în care apar curenții de inducție se numește circuit indus sau *circuit secundar*.

Curenții de inducție sunt curenți variabili.

2. LEGILE INDUCȚIEI

Inducția electromagnetică este condusă de două legi.

a) **Legea lui Faraday (1831).** Am arătat că apariția curenților de inducție într-un circuit închis se datorește apariției în acest circuit a forței electromotoare, sub influența unui flux variabil de inducție magnetică. Faraday a stabilit pentru prima dată relația dintre valoarea acestei forțe electromotoare și viteza de schimbare a inducției, relație care reiese din legea conservării energiei. Ea se numește legea

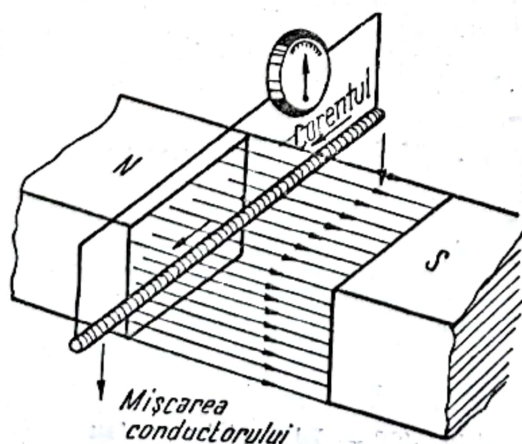


Fig. 430 — Curenți de inducție.

lui Faraday sau legea întâi a inducției, și se enunță astfel: într-un circuit ia naștere un curent de inducție ori de câte ori variază câmpul magnetic care străbate circuitul; tensiunea curentului indus este cu atât mai mare cu cât variația câmpului magnetic este mai rapidă.

b) **Legea lui Lenz (1834).** Fizicianul rus E. H. Lenz (1804—1865) a descoperit și formulat legea a doua a inducției, care determină sensul forței electromotoare de inducție ce apare în conductor. Această lege se enunță astfel: curentul indus are sensul care prin câmpul său magnetic se opune cauzei care a dat naștere forței electromotoare de inducție.

3. AUTOINDUCȚIA

Un circuit oarecare, străbătut de un curent, se află în câmpul magnetic propriu, creat chiar de el însuși; la închiderea circuitului, acest câmp variază, fiindcă curentul trece treptat prin toate spirele, așa că curentul de inducție produs este și el variabil. Acest fenomen se numește *autoinducție sau selfinducție*. Când fluxul magnetic se stabilește, adică atunci când începe să treacă curentul prin bobină, datorită fenomenului de autoinducție, curentul nu atinge instantaneu intensitatea corespunzătoare legii lui Ohm. La deschiderea circuitului se produce de asemenea curent de autoinducție. Curentul de autoinducție se produce deci când închidem circuitul, când îl deschidem și când variem intensitatea curentului din circuit. Curentul de autoinducție urmează legea lui Lenz, adică are sensul prin care se împotrivesc cauzei care-l produce, în fiecare din aceste cazuri. Astfel, la închiderea circuitului, curentul principal variază de la 0 la I (într-un timp foarte scurt). Curentul de selfinducție care apare în această perioadă variabilă se opune curentului principal, și este deci de sens contrar. La întreruperea circuitului, intensitatea circuitului principal scade extrem de repede de la I la 0. Curentul de autoinducție se opune acestei variații, deci are același sens ca și curentul principal, și prelungește astfel existența acestuia în circuit. La o întrerupere bruscă, curentul de autoinducție atinge o tensiune ridicată potrivit legii întâi a inducției, și produce o scînteie care poate lua chiar dimensiuni de arc electric între capetele circuitului întrerupt. Avem astfel scînteia sau arcul de ruptură a curentului. În fig. 431 este redat graficul variației intensității curentului, datorită autoinducției.

În legătură cu inducția, se definește mărimea fizică numită reactanță (L). Un circuit în care, la o variație determinată de curent, se induce în unitatea de timp o forță electromotoare mai mare, are o reactanță mai mare. Ca unitate de reactanță se ia reactanța circuitului electric în care, la o variație a curentului de 1 A în timp de 1 s, se va produce o forță electromotoare de selfinducție de 1 V; această unitate de reactanță se numește henry, simbol H. Se folosesc și submultipli milihenry și microhenry. La circuitele liniare, reactanța este mică, pe cînd la bobine reactanța este foarte mare, așa că variațiile de la începutul și de la sfîrșitul trecerii curentului sînt lente.

Asupra efectelor autoinducției vom reveni cînd vom descrie caracteristicile curentului alternativ.

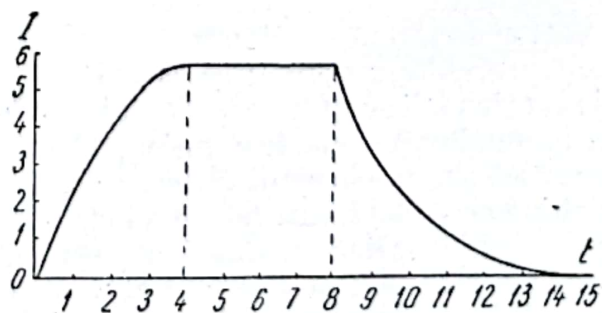


Fig. 431 — Graficul variației intensității curentului, datorită autoinducției.

4. CURENȚII TURBIONARI (FOUCAULT)

Curenții de inducție care iau naștere în mase metalice de dimensiuni mai mari decât conductorii electrici obișnuiți sînt cunoscuți sub numele de curenți turbionari sau *curenți Foucault*. Prin sensul lor, ei se opun mișcării masei de metal ori variației cîmpului magnetic. De multe ori curenții turbionari încălzesc indusul diferitelor mașini electrice și pot cauza deteriorarea izolației, așa că trebuie eliminați prin diferite metode.

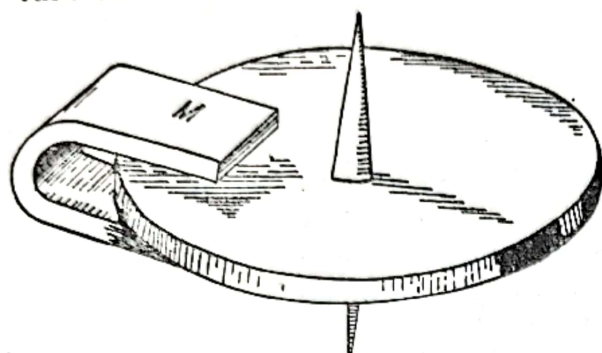


Fig. 432 — Curenții turbionari (Foucault) opresc rotația discului.

De multe ori, acești curenți sînt folosiți în aparatele electrice; de exemplu, se utilizează curenții Foucault pentru frînarea mișcării unei piese. Astfel, între polii unui magnet M (fig. 432), dacă dăm o mișcare de rotație unui disc, acesta intersectează cîmpul magnetului M și în el se induc curenți Foucault, care frînează rotația discului. Această însușire este folosită la

centorii de curent alternativ și alte aparate de măsurat.

B. PRODUCEREA CURENȚILOR ALTERNATIVI

1. GENERATORII ELECTRICI DE INDUCȚIE

Generatorii electrici cei mai întrebuițați în prezent, în toate domeniile tehnice și științifice, sînt mașini de inducție. Acești generatori transformă energia mecanică, de învîrtire a rotorului mașinii, în energie electrică, prin fenomenele de inducție electromagnetică ce au loc în circuitele induse ale mașinii. Curenții de inducție folosiți la iluminatul electric, la forța motoare industrială, la transportul electric, în aparatele de electrologie medicală, în radiologie etc. sînt produși de generatorii electrici de inducție.

Deși curenții de inducție sînt, prin însuși modul în care apar, curenți alternativi (circulă într-un sens la stabilirea circuitului primar și în sens opus la ruperea lui), totuși generatorii electrici de inducție pot furniza uneori curent alternativ, alteori curent continuu, după construcția lor. Generatorii de inducție se construiesc în două tipuri: generatorul de curent continuu, cunoscut și sub numele mai vechi de *dinam*, și generatorul de curent alternativ, numit și *alternator*.

Generatorul de curent continuu este o mașină de inducție care printr-un colector de formă specială furnizează curent continuu, redresînd una din alternanțe. Alternatorul furnizează curent alternativ. Descrierea construcției și funcționării acestor generatori iese din cadrul lucrării de față; ea se găsește în manualele de electrotehnică. Generatorii electrici transformă în energie electrică energia mecanică furnizată de un motor primar (turbina hidraulică, turbina cu vapori, turbine de vînt, motoare cu ardere internă) care consumă energia hidraulică a căderilor de apă în centralele hidroelectrice, energia chimică a combustibililor în centralele termoelectrice, energia mecanică a vîntului în centralele eoliene, energia nucleară în centralele atomo-electrice.

Tot aici și tot atît de succint trebuie menționat faptul că dezvoltarea electrotehnicii a dus la crearea, nu numai a mașinilor de inducție care pro-

duc curent electric, ci și a unor mașini similare care consumă curentul produs de generatori și îl transformă în energie mecanică. Aceste mașini de inducție se numesc electromotoare. *Electromotoarele de curent continuu* și *electromotoarele de curent alternativ* sînt mașini rotative de inducție, asemănătoare generatorilor, dar avînd funcționarea inversă. În principiu, generatorii și electromotoarele sînt reversibile. Energia mecanică obținută cu ajutorul electromotoarelor este utilizată în industrie, transport, în folosințe medicale, culturale, casnice, în agricultură etc.

Diferitele mașini de inducție — generatori și electromotoare — necesare industriei, agriculturii, transporturilor, folosințelor casnice și comunale, aplicațiilor medicale și științifice în general, se fabrică în țară de industria noastră electrotehnică, creată și dezvoltată în anii de democrație populară cu ajutorul Uniunii Sovietice.

2. CARACTERISTICILE CURENTULUI ALTERNATIV

În timp ce curentul continuu produs de generatorii galvanici sau de acumulatori își păstrează neschimbat sensul în tot timpul cît circulă, dînd astfel o curbă sensibil paralelă cu axa timpurilor (afară de perioadele scurte de închidere și deschidere), curentul produs prin inducția electromagnetică își schimbă periodic sensul.

La curentul alternativ, intensitatea se schimbă în fiecare moment. Ea pornește de la zero și ajunge pînă la intensitatea maximă I_{max} de la care începe să descrească, pînă ce se anulează; de îndată ce a dispărut alternanța pozitivă, începe să circule curentul de sens contrar, care începe de la zero, trece prin intensitatea maximă, în valoare absolută, dar de semn negativ (I_{max}) și apoi descrește din nou pînă la zero.

Graficul curentului alternativ este deci o sinusoidă. Fiecare buclă a sinusoidelor se numește alternanță. Durata de producere a două alternanțe constituie perioada T a curentului alternativ. Frecvența constă din numărul de perioade pe secundă. Perioada este deci inversa frecvenței

$T = \frac{1}{\nu}$ și $\nu = \frac{1}{T}$. Frecvența curentului alternativ reprezintă deci numărul de schimbări de sens care se produc în unitatea de timp. Frecvența cea mai obișnuită a curentului alternativ este de 50 Hz.

3. ACȚIUNEA AUTOINDUCȚIEI ȘI A CAPACITĂȚII

Am arătat că în circuitul de curent alternativ, deși există la început o forță electromotoare de inducție, totuși curentul apare abia după ce învinge autoinducția; această diferență de fază se menține în permanență între forța electromotoare și intensitatea curentului.

Un condensator intercalat în circuitul de curent continuu împiedică circulația curentului, datorită dielectricului dintre armăturile condensatorului. Într-un circuit alternativ, condensatorul permite trecerea curentului datorită fenomenelor de inducție, dar influențează circulația curentului.

La începutul unei alternanțe, electronii se acumulează pe una din armăturile condensatorului și intensitatea crește; apoi, ei încep să se opună sosirii altor electroni. Condensatorul grăbește deci apariția intensității maxime. În rezumat, se poate spune că autoinducția întîrzie curentul, iar capacitatea îl grăbește.

a) **Reactanța.** Rezistența în curent alternativ este de două feluri: rezistența activă sau ohmică R și cea inductivă r , care se datorește autoinducției și se numește reactanță inductivă sau, mai simplu, reactanță.

Reactanța are valoarea

$$r_a = 2\pi \nu L$$

unde ν este frecvența și L este inductanța (raportul dintre fluxul magnetic, stabilit în circuit, de curentul care trece prin el, și intensitatea acestui curent).

Deoarece $2\pi \nu$ se mai numește și pulsația curentului alternativ (ca la orice fenomen oscilator) și se notează cu ω , reactanța are valoarea

$$r_a = \omega L. \quad (1)$$

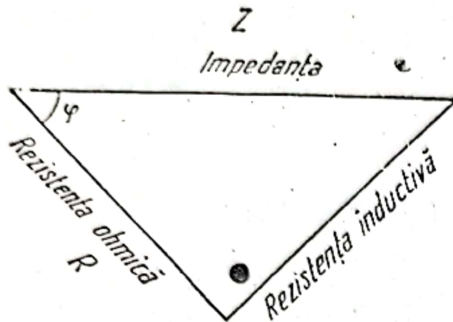


Fig. 433—Rezistența totală într-un circuit de curent alternativ.

Rezistența totală sau impedanța circuitului nu se obține printr-o însumare aritmetică, ci printr-una geometrică. Graficul din fig. 433 arată modul de obținere a rezistenței totale (impedanța) într-un circuit de curent alternativ. Din triunghiul rezistențelor reiese că suma geometrică a rezistenței ohmice R și a celei inductive r_a (reactanța) este latura Z . Din calcul reiese valoarea lui Z :

$$Z = \sqrt{R^2 + r_a^2}$$

sau

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}.$$

Rezistența totală sau *impedanța* (Z) are pentru curentul alternativ rolul pe care-l are rezistența ohmică pentru curentul continuu. Impedanța Z se exprimă în ohmi.

b) **Capacitanța.** Rezistența suplimentară introdusă în circuit de condensator se numește capacitanță sau reactanță capacitivă. Ea variază în raport invers cu capacitatea condensatorului și cu frecvența curentului alternativ.

Valoarea capacitanței se exprimă prin relația:

$$r_c = \frac{1}{2\pi \nu C}.$$

și cum $2\pi \nu$ este pulsația ω a curentului, avem:

$$r_c = \frac{1}{\omega C}. \quad (2)$$

Sînt numeroase cazuri în practica electrologiei medicale cînd întîlnim montaje cu bobine și condensatori; aceasta se întîmplă îndecsebi, cum vom vedea mai departe, în aplicațiile de înaltă frecvență. Acțiunea autoinducției și a capacității trebuie deci considerată și simultan, nu numai separat. Dacă un circuit cuprinde o bobină cu autoinducție mare și un condensator de capacitate destul de mare, efectele sînt antagoniste, capacitatea reducînd din decalajul introdus de autoinducție. În acest caz, rezistența totală, adică impedanța Z , are valoarea următoare:

$$Z^2 = R^2 + (r_a - r_c)^2 \quad (3)$$

și înlocuind valorile reactanței r_a și capacitancei r_c cu valorile lor din expresiile (1) și (2) obținem

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \quad (3')$$

În absența rezistențelor suplimentare, reactanța și capacitancea, curentul alternativ întîmpină, ca și cel continuu, numai rezistența ohmică R , așa că valoarea intensității lui este maximă. Aceasta se poate obține și în cazul existenței bobinei și condensatorului, dacă termenul al doilea al expresiei (3) impedanței se anulează, adică:

$$r_a = r_c = 0; \quad \text{deci } r_a = r_c,$$

adică

$$L\omega = \frac{1}{C\omega}.$$

Deci, în cazul reactanței inductive egale cu capacitancea, valoarea din paranteză dispare și impedanța Z este egală cu rezistența ohmică R . În acest caz, fenomenul se numește *rezonanță*, prin analogie cu fenomenul acustic: intensitatea unui sunet este maximă la rezonanță, cînd perioada vibrațiilor unei coarde este egală cu cea a vibrațiilor corpului excitat (cutia de rezonanță) de acea coardă.

Condiția de rezonanță, pe care de asemenea o vom întîlni la studiul înaltei frecvențe, se exprimă deci sub forma următoare

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

deoarece

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Expresia $2\pi\sqrt{LC}$ cuprinde constantele caracteristice ale circuitului alternativ, și determină perioada și deci și frecvența curentului.

4. CURENT MONOFAZAT ȘI CURENT TRIFAZAT

Curentul alternativ se utilizează sub formă de curent monofazat și de curent trifazat.

a) **Curentul monofazat** este produs de un generator care are, de fiecare pereche de poli magnetici inductori, cîte o bobină în care se produc curenții de inducție. Prin colectare, se obține curentul sinusoidal, fiecare sinusoidă începînd de îndată ce a încetat cea precedentă.

b) **Curentul trifazat.** Dacă însă în loc de o singură bobină indusă avem trei bobine pentru fiecare pereche de poli magnetici inductori, și anume astfel ca, pe rotorul mașinii, cele trei bobine să fie decalate cu cîte 120° , vor apărea în conductor trei curenți, care vor avea fiecare o diferență de fază (decalaj) de $T/3$. Sistemul de curent alternativ trifazat (fig. 434) este foarte mult utilizat deoarece asigură un transport mai avantajos al energiei și face posibilă construirea unor mașini electrice de inducție cu funcționare sigură și construcție simplă.

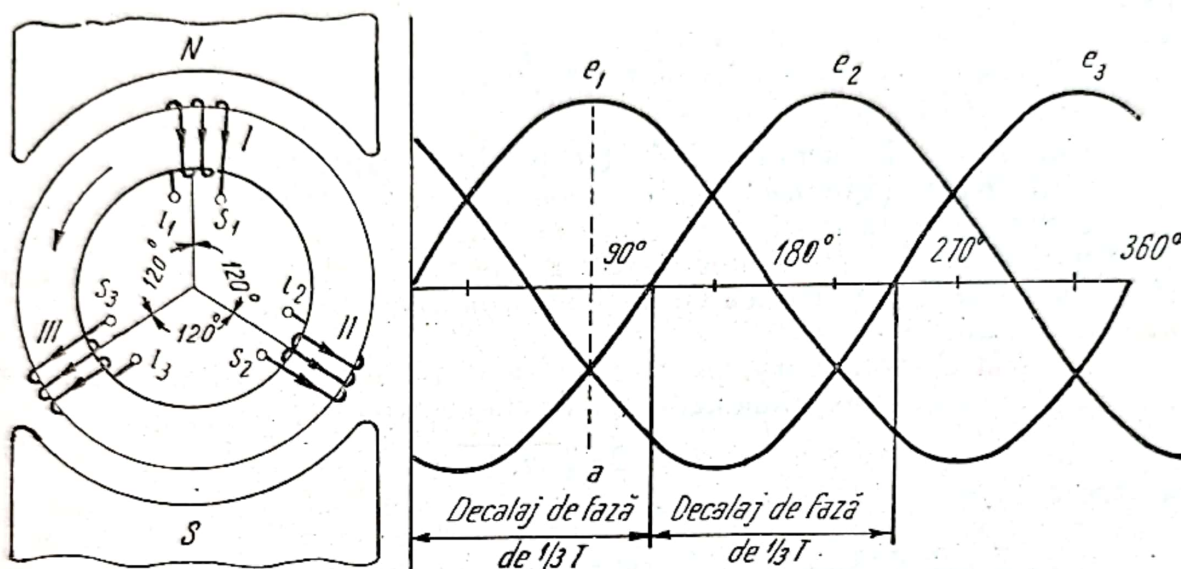
Alimentarea cu energie electrică în curent alternativ trifazat a fost realizată de inginerul rus M. O. Dolivo-Dobrovolski în 1891. Toate alternatoarele și electromotoarele actuale sînt construite, cu perfecționările aduse timp de 60 ani, pe principiul creat de Dobrovolski.

C. TRANSFORMAREA CURENTULUI

În dezvoltarea istorică a electricității, folosirea aparatelor și mașinilor de produs curent electric a făcut de la început necesară transformarea uneori a curentului electric, adică modificarea însușirilor lui caracteristice. Aceasta s-a realizat cu ajutorul transformatorilor.

1. TRANSFORMATORUL

Transformatorul este un aparat care funcționează pe principiul inducției electromagnetice. Se construiesc mai multe feluri de transformatori.



a — producere; b — graficul.

Fig. 434 — Curentul trifazat.

a) **Transformatorul cu circuit magnetic închis.** Acest transformator are două înfășurări bobinate pe un miez magnetic închis (în formă de cerc, cadru pătrat sau dreptunghiular).

Cel mai simplu transformator din această categorie are bobinele (înfășurările) izolate între ele și izolate și față de miezul de fier moale. Înfășurarea care se conectează în circuitul cu curent se numește înfășurarea primară sau bobina primară, iar cea în care apare curentul de inducție se numește înfășurarea secundară sau bobina secundară (fig. 435).

Înfășurarea secundară poate fi alcătuită din una sau mai multe bobine, prin care să se culeagă — separat sau printr-o priză intermediară — curentul la tensiunea necesară.

Această categorie de transformatori transformă numai curentul alternativ, modificându-i proprietățile (intensitate, forță electromotoare).

b) **Bobina de inducție.** Dacă pentru alimentarea înfășurării primare a transformatorului se folosesc generatori de curent continuu (elemente galvanice, acumulatori, dinamuri), forța electromotoare de inducție apare numai la închiderea și deschiderea circuitului. Închiderile și deschiderile trebuie să se facă deci foarte repede, căci altfel cantitățile de curent induse produse sînt foarte mici și nu pot fi folosite.

Aceste închideri și deschideri de circuit se realizează cu ușurință într-un aparat numit bobină de inducție.

Bobina de inducție este un transformator de tip special. Ea utilizează ca izvor de electricitate un curent continuu.

Bobina de inducție (fig. 436) este formată dintr-un miez de fier moale căruia i se dă forma unui mănunchi de fire, pentru a se evita producerea curenților Foucault; peste acest miez este înfășurat un conductor de cupru izolat, de un diametru mai mare și lungime mai mică; acesta formează circuitul primar.

Deasupra spirelor, care reprezintă circuitul primar, se așază o izolație peste care se bobinează o înfășurare formată din sîrmă izolată subțire și lungă; aceasta constituie bobina secundară. În-fășurarea primară este legată printr-un întrerupător vibrator cu arc la sursa de curent: baterie galvanică, acumulatori. În circuit se mai află un întrerupător cu care se pornește aparatul și un condensator care stinge scînteile de rupere.

Funcționarea bobinei de inducție decurge în modul următor: la închiderea întrerupătorului, curentul bateriei trece prin înfășurarea primară a bobinei și magnetizează miezul de fier moale. Acesta atrage armătura întrerupătorului vibrator și întrerupe astfel circuitul, așa că nu mai circulă curentul primar. Miezul de fier demagnetizat nu mai atrage armătura întrerupătorului, care revine la loc pe șurubul de care era rezemat și închide astfel din nou circuitul primar; procesul de închidere și deschidere a circuitului primar cu ajutorul întrerupătorului vibrator se repetă astfel necontenit.

Această închidere și deschidere a circuitului primar are drept efect în bobina secundară apariția unor curenți de inducție, deoarece cîmpul magnetic variabil al înfășurării primare, intersectînd spirele înfășurării secundare, induce în aceasta o forță electromotoare de inducție. La închiderea circuitului, forța electromotoare are, după legea lui Lenz, un anumit sens în înfășurarea secundară, iar la deschiderea circuitului are sensul contrar.

În bobina primară, curentul de alimentare are diferența de potențial mică. În bobina secundară, care are un număr mare de spire, apare o forță electromotoare de inducție mare, dar lungimea mare și diametrul mic al sîrmei spirelor fac ca în circuitul secundar să circule, după legea lui Ohm, un curent de intensitate mică. Extremitățile bobinei secundare sînt fixate la două borne unde se pot introduce electrozi între care apare o diferență de potențial mare. Stratul de aer dintre cei doi electrozi poate fi

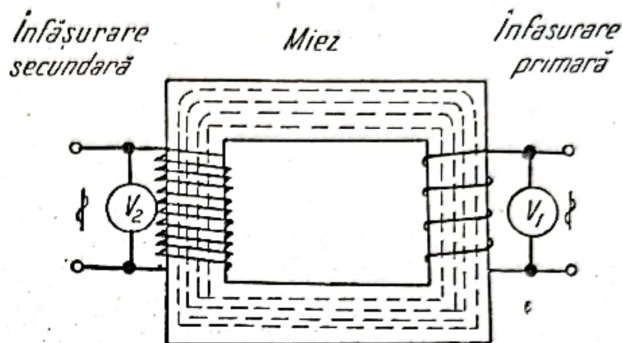


Fig. 435 — Schema transformatorului.

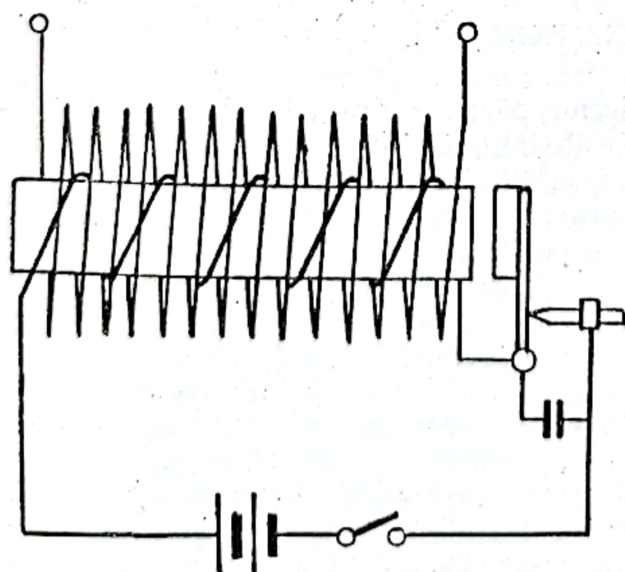


Fig. 436 — Bobina de inducție (schemă).

străpuns pe o distanță care variază cu forța electromotoare a curentului alternativ produs.

Înfășurarea primară a bobinei poate fi alimentată și în curent alternativ; în acest caz nu mai este strict necesar întrerupătorul-vibrator.

Bobina de inducție, cunoscută și sub numele de bobina Ruhmkorff, după unul din constructorii unui asemenea aparat, a avut un rol foarte important în dezvoltarea fizicii. Primele experiențe în curent alternativ și în radiologia medicală au fost făcute cu bobina de inducție.

c) **Raportul de transformare.** Transformatorii folosesc curentul alternativ de anumite caracteristici pentru a da curenți alternativi de alte caracteristici.

Curentul alternativ, trecând prin înfășurarea primară, produce un cîmp magnetic alternativ, ale cărui linii magnetice de inducție se închid prin miezul de fier și intersectează astfel spirele înfășurării secundare, inducînd în acestea o forță electromotoare.

Frecvența curentului indus este aceeași cu frecvența curentului alternativ inductor. Valoarea forței electromotoare induse în înfășurarea secundară depinde de frecvența curentului alternativ din înfășurarea primară și de numărul de spire ale fiecărei înfășurări. Pentru o anumită frecvență și un anumit flux magnetic valoarea forței electromotoare a fiecărei înfășurări depinde de numărul de spire (confecționate din același conductor).

Se poate deci scrie

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

unde E_1 și E_2 sînt forțele electromotoare ale înfășurărilor și n_1 și n_2 numărul de spire ale înfășurărilor (primară și secundară). În acest caz, raportul dintre forțele electromotoare este reprezentat prin numărul care arată raportul dintre spire, și care se numește raport de transformare (k):

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = k.$$

D. APLICAȚIILE MEDICALE ALE CURENTULUI ALTERNATIV

1. BOBINA FARADICĂ

Sub numele de *curent faradic*, nume păstrat numai în electrologia medicală, se înțelege un curent alternativ obținut cu ajutorul bobinei de inducție.

Bobina faradică are o formă specială, adaptată scopurilor medicale. Bobina primară, în care se află un miez de fire de fier moale, este fixată de masa de lucru sau pe o planșetă specială; bobina secundară este mobilă cu ajutorul unui dispozitiv de alunecare (glisieră) din lemn și poate acoperi prin mișcarea ei de translație, mai mult sau mai puțin, bobina primară. Glisiera este gradată pe una din laturi, în centimetri. Cînd bobina secundară acoperă în întregime pe cea primară, indicele este la zero, iar acțiunea inductoare a bobinei primare asupra celei secundare este maximă, fiindcă circuitul secundar se află complet în cîmpul magnetic al circuitului primar. Întrerupătorul, condensatorul și alimentarea sînt asemănătoare celor ale bobinei Ruhmkorff.

Întrerupătorul permite obținerea a 40—60 de întreruperi pe secundă. Funcționarea bobinei medicale este aceeași ca a bobinei de inducție clasice.

Curentul de alimentare din circuitul primar este curent galvanic, adică curent continuu. Întreruperea fiind, în acest caz, mai rapidă decât stabilirea circuitului, curentul indus direct, care se produce la ruperea curentului din circuitul primar, are o forță electromotoare mult mai mare decât curentul indus invers, care ia naștere la stabilirea curentului. Din această cauză, deși bobina dă, prin definiție, curent alternativ, totuși ea poate fi considerată ca polarizată, polaritatea ei fiind socotită în raport cu unda directă, care este, cum am mai spus, mult mai puternică decât unda inversă.

Graficul unui curent faradic, produs de o astfel de bobină, este redat în fig. 437 din care reiese că acest curent este alcătuit dintr-o serie discontinuă de unde alternative, pozitive și negative, undele pozitive fiind produse prin ruperea curentului primar, iar cele negative prin stabilirea lui. Cele două feluri de unde se deosebesc între ele prin durata lor (abscisele $bb > aa$) și prin forța lor electromotoare maximă (ordonatele în A sînt mai mari decât în B). Unda pozitivă sau de ruptură are o durată mai scurtă și forța electromotoare maximă e mai mare decât unda de închidere.

Unele bobine faradice mai perfecționate au secundarul legat în serie cu circuitul de curent galvanic: corpul subiectului este astfel străbătut de un curent galvano-faradic.

Graficul din fig. 438 arată schematic că acest curent este constituit din curentul galvanic, la care se adaugă undele induse ale curentului faradic.

Bobina faradică nu dispune de mijloace speciale pentru dozarea curentului de utilizare. Aprecierea curentului se face măsurîndu-se, în cm, distanța dintre cele două bobine și menținînd sau variînd această distanță de la o ședință la alta. Pentru a avea rezultate comparabile, sursa de curent primar se menține constantă. Pentru fiecare bobină primară și secundară se etalonează la început tensiunea și intensitatea de curent ce se pot obține.

Pentru a obține variația necesară, se reglează curentul faradic furnizat de bobină; aceasta se face prin diferite metode: variînd distanța dintre cele două bobine, curentul indus va varia și el cu distanța secundarului de primar; manevrînd un reostat cu cursor în circuitul de utilizare se poate obține un curent cu atît mai mic cu cît reostatul introduce o rezistență mai mare în circuit; se mai poate obține această variație introducînd între bobina primară și cea secundară cilindri dielectrici de diferite construcții, pe o distanță mai mare sau mai mică.

Curentul faradic se aplică cu ajutorul unor electrozi similari celor descriși la aplicațiile curentului galvanic. În afară de acești electrozi se mai

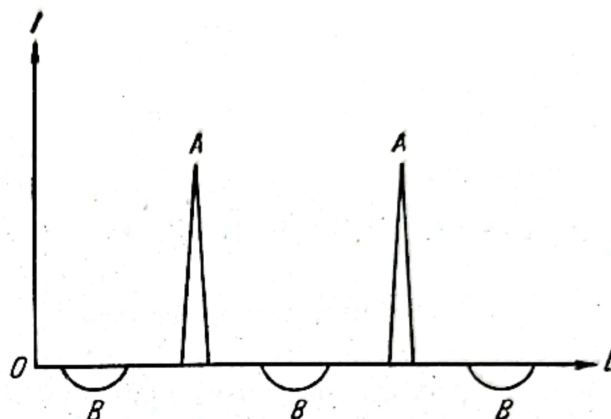


Fig. 437 — Graficul curentului faradic.

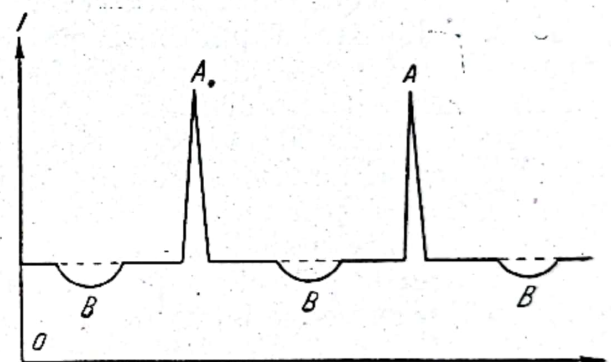


Fig. 438 — Reprezentarea grafică a curentului galvano-faradic.

folosește adesea pensula faradică, formată dintr-un mănunchi de fire de metal, și ruloul faradic sau electrodul labil, format dintr-un cilindru care se rotește în jurul axului său și pe care-l deplasăm mereu în timpul faradizării. În fine, în masajul electric, curentul este adus prin mina operatorului, care-l primește cu ajutorul unui electrod așezat pe antebraț; al doilea electrod este așezat pe subiect.

2. ACȚIUNEA CURENȚILOR FARADICI ȘI GALVANO-FARADICI ASUPRA ORGANISMULUI

Curenții faradici produc efecte motorii, senzitive și vasomotorii. Ei sînt utilizați îndeosebi pentru a produce excitația nervilor motori și a mușchilor. Deoarece nu produce fenomene electrolitice, faradizarea determină o stimulare mai netă decît galvanizarea.



Fig. 439 — Pensula faradică.

Polul negativ al bobinei faradice (care este — după cum am arătat — polarizată) are un efect de stimulare mai accentuat decît polul pozitiv.

Zvîcnirile produse de catod apar mai curînd decît cele produse de anod dacă intensitatea curentului se mărește puțin cîte puțin, adică dacă apropiem încet bobina secundară de cea primară.

O importanță deosebită o are frecvența întreruperilor din circuitul primar. O undă izolată, destul de puternică, provoacă o contracție musculară izolată, dar undele repetate periodic produc, fie un tetanos incomplet, fie unul complet. În mod practic se utilizează, pentru producerea tetanizării, întrerupători cu frecvența de 30—40 pe secundă. Uneori tetanizarea se face ritmat, aplicînd curentul faradic tetanizant la intervale mai mult sau mai puțin apropiate. Contracțiile tetanice ritmate sînt astfel asemănătoare mișcărilor voluntare repetate periodice.

Dacă șocurile proiectate prin electrodul activ pe punctul motor al unui mușchi se succed la intervale moderate, care permit relaxarea completă a mușchiului între două excitații, obținem o gimnastică musculară, care are efect tonifiant și reparator în diferite atrofii postnevritice, chirurgicale.

Scurtînd perioada de relaxare, cu tendința spre fuzionare parțială, se obține un masaj vibrator. Dacă numărul șocurilor este mai mare de 20 pe secundă obținem faradizarea tetanizantă.

Mușchii netezi sînt mai puțin excitabili prin curenți faradici decît mușchii striati.

Faradizarea este tratamentul electric cel mai întrebuintat în cazuri de paralizie și atrofie musculară, cînd mușchii sînt încă excitabili prin curent faradic.

Asupra pielii, curentul faradic are acțiune senzitivă. Aplicarea curentului faradic produce asupra pielii o senzație particulară, datorită acțiunii asupra nervilor senzitivi. Aplicația faradică produce mai întîi o furnicătură nedureroasă, apoi, dacă intensitatea se mărește, subiectul are o senzație de înțepătură, care poate deveni dureroasă. În anumite cazuri se caută obținerea acestei acțiuni puternice asupra nervilor senzitivi. În aceste cazuri se întrebuintează ca electrod pensula faradică (fig. 439), care permite obținerea unei densități mari de curent la capetele firelor metalice subțiri ale pensulei. Cu pensula faradică se obține o revulsie puternică a tegumentelor. Dacă vrem să acționăm energic asupra nervilor senzitivi, se poate întrebuinta cu succes o bobină secundară cu firul foarte subțire. Bobine secundare cu firul gros

sînt întrebuintate, dimpotrivă, pentru a produce efecte motorii nedureroase. Faradizarea aplicată rațional, cu electrozi umezi, are o acțiune analgezică prin efectul ei desconggestionant.

Curentul faradic produce și efecte vasomotorii. Faradizarea cu electrozi obișnuiți, umezi, are acțiune asupra fenomenelor circulatorii, prin nervii vasomotori. În ședințe scurte, produce efecte vasoconstrictoare și desconggestionante. În ședințe prelungite, produce vasodilatații și congestii ale diferitelor organe.

Galvano-faradizarea se aplică atunci cînd trebuie acționat asupra fibrelor netede, și anume contra dilatației stomacului și atoniei intestinului.

E. REDRESORI

Curenții alternativi sînt ușor de obținut cu ajutorul mașinilor de inducție; ei nu pot satisface însă anumite cerințe de electrologie medicală, unde prezența curentului continuu este indispensabilă (de exemplu, la încărcarea acumulatorilor, la instalațiile Röntgen etc.). În tehnică există de asemenea numeroase domenii importante unde este nevoie de curent continuu: transportul electric, galvanoplastia, fabricarea metalelor (Al) prin electroliză, rafinarea metalelor (cuprul electrolitic) etc.

Deși curentul continuu se poate obține cu ajutorul elementelor galvanice, al acumulatorilor și al dinamurilor, totuși se preferă producerea curenților de către alternatori și transformarea, la utilizare, a curenților alternativi în curenți continui. La această preferință contribuie și faptul că curentul alternativ este ușor de transformat pentru a fi transportat la distanțe mari, de la centralele hidroelectrice și termoelectrice (construite lîngă izvoarele naturale de energie) la locul de utilizare.

Mașinile și aparatele folosite la transformarea curentului alternativ în curent continuu sînt de mai multe feluri: grupuri convertizoare, redresori etc.

1. GRUPURI CONVERTIZOARE

În unele cazuri, pentru tensiuni joase și intensități mari de curent, redresarea se face prin grupurile motor-generator, numite și grupuri convertizoare. Aceste grupuri convertizoare sînt formate dintr-un electromotor de curent alternativ cuplat cu un generator de curent continuu (dynam). Electromotorul este alimentat de rețeaua de curent alternativ și rotește indusul dinamului. Dinamul produce curent continuu.

Mai des, pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu se folosesc dispozitive speciale, numite redresori.

Se folosesc în prezent redresorii uscați (solizi), redresorii cu mercur și tuburile electronice redresoare.

2. REDRESORI CU SEMICONDUCTORI

Dintre redresorii uscați (solizi) sînt mai mult întrebuintați, fie la încărcarea acumulatorilor, fie la redresarea curentului alternativ folosit în aparate electromedicale, cei cu substanțe semiconductoare: redresorul cu seleniu, redresorul cu oxid cupros (cuproxid), cel cu germaniu, cu siliciu etc.

a) Redresorul cu cuproxid este format dintr-o serie de rîndele alcătuite după schema următoare (fig. 440). Rondela circulară de cupru (1) constituie un electrod; pe acesta se află înspre interior un strat de oxid cupros (2), obținut prin încălzirea cuprului la o temperatură ridicată și răcirea bruscă

în apă rece. Pe suprafața stratului de oxid de cupru (Cu_2O) se presează o placă de plumb (3), care este al doilea electrod și care, fiind plastic, asigură un contact bun. Între conductorul de cupru și semiconductorul de oxid cupros ia naștere un strat extrem de subțire, aproximativ de $10 \text{ m}\mu$, având o rezistență foarte mare și care se numește strat de blocare (de baraj, de închidere). Redresorul de cuproxid este deci alcătuit de fapt din patru straturi: electrodul de cupru care are electroni liberi în număr mare, stratul de blocare neconductor, care nu are electroni liberi, stratul de oxid cupros semiconductor care are un număr mic de electroni liberi și apoi electrodul de plumb.

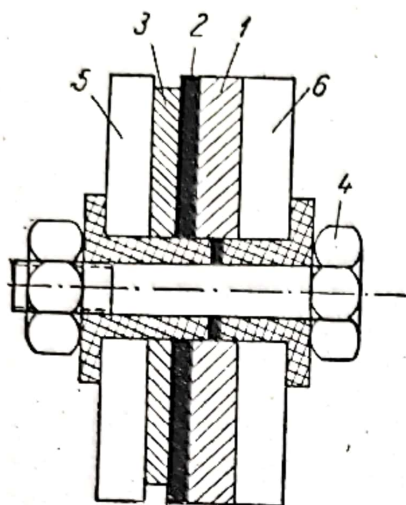


Fig. 440 — Schema redresorului cu oxid cupros (cuproxid).

Aplicând celor doi electrozi (1) și (3) o diferență de potențial, ia naștere în stratul de blocare un câmp electric puternic, care permite smulgerea unor electroni liberi din straturile alăturate lui. Dacă se aplică cuprului potențialul negativ, iar plumbului și respectiv oxidului de cupru potențialul pozitiv, cantitatea de electroni liberi smulși din cupru va fi mare și în circuit va trece curentul electric de la cuproxid spre cupru. Dacă se schimbă polaritatea, cuprul devenind polul pozitiv, numărul electronilor smulși din stratul de oxid de cupru este foarte mic și curentul nu trece, practic, prin circuit. În acest mod, conductibilitatea unilaterală a sistemului cupru-cuproxid folosește pentru trecerea curentului într-un singur sens, adică pentru redresarea curentului alternativ.

Elementul de redresor mai are rondellele de alamă (5) și (6) pentru strângere; el se așază pe un bulon izolant (4), care strânge toate părțile elementului redresor.

Unui asemenea element de redresor i se poate aplica tensiunea maximă de 4—5 V; pentru o tensiune mai mare, plăcile se leagă în serie. Pentru fiecare cm^2 de placă se admite un curent de 0,05 A. Durata de funcționare a unui redresor cu cuproxid este de aproximativ 15 ani; randamentul lui atinge 70%.

Redresarea cu ajutorul redresorului cu cuproxid are dezavantajul că dă spre utilizare o singură semiperioadă. În figura 441 se poate vedea că partea inferioară a sinusoidelor curentului alternativ este tăiată de redresor, așa că, după redresare, trece în circuit un curent pulsator cu întrerupere de o semiperioadă.

Folosind un montaj ca cel din figura 442, se poate redresa curentul alternativ monofazat, aducând la una din borne punctul demijloc al înfășurării secundare,

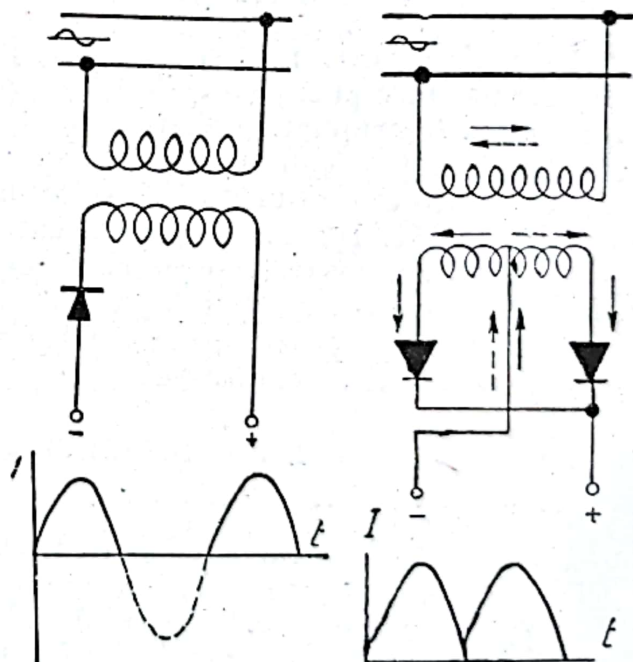
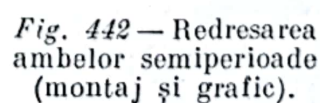


Fig. 441 — Redresarea unei singure semiperioade (montaj și grafic).



iar la cealaltă bornă cele două plăci ale redresorilor. Săgețile pline arată drumul curentului alternativ într-o semiperioadă, iar săgețile punctate indică drumul curentului în semiperioada următoare. După redresare, trece în circuit un curent pulsator ca și în cazul precedent, dar nu mai are loc întreruperea curentului, căci în pauză se intercalează semiunda redresată care fusese tăiată. O asemenea schemă se numește de *redresare a ambelor semiperioade*.

Redresorii de cuproxid se folosesc pentru alimentarea circuitelor în radio-tehnică, pentru încărcarea acumulatorilor, pentru alimentarea instrumentelor de măsurat etc.

b) **Redresorul cu seleniu.** Acest redresor folosește ca substanță semiconductoare un strat de seleniu, metaloid asemănător sulfului. În figura 443 este prezentat un element al redresorului cu seleniu. Unul din electrozi constă dintr-o rondelă mică de fier nichelat (1) pe care este aplicat un strat subțire de seleniu (2). Stratul (3) care constituie al doilea electrod este format dintr-un aliaj bun conductor (bismut, staniu, cadmiu). Pe acest strat de acoperire este presată rondela de contact (4) de alamă. Pentru legarea elementului servesc plăcile (5) și (6), care se lipesc de ambii electrozi. În regiunea despărțitoare dintre stratul de seleniu și stratul de acoperire ia naștere stratul de blocare. Funcționarea decurge în același mod și pe același principiu ca și la redresorul cu oxid cupros.

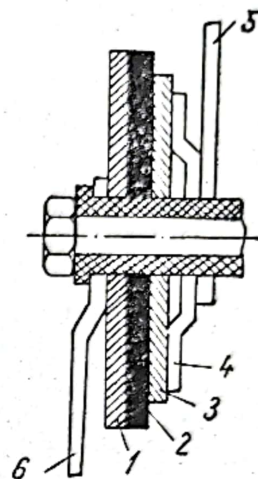


Fig. 443—Redresor cu seleniu.

Redresorul cu seleniu admite o sarcină de 50 mA pentru 1 cm² din rondela de contact. Tensiunea este de maximum 18 V. Are utilizări similare celor ale redresorului cu oxid de cupros.

3. REDRESORII IONICI

a) **Redresorul cu mercur.** În ultimele patru decenii, consumul de energie electrică în curent continuu pentru transporturi: tramvaie, troleibuse, metropolitane (metrouri), trenuri electrice suburbane sau de distanță, precum și pentru industrie în general, îndeosebi pentru industria electrochimică (prepararea electrolitică a aluminiului, cuprului etc.) a crescut foarte mult, așa că redresorii industriali sînt întrebuițați din ce în ce mai mult; datorită randamentului lor foarte bun, redresorii cu mercur au înlocuit grupurile convertizoare motor-generator, de care am amintit mai înainte.

Redresorul cu mercur este, în principiu, un tub ionic în formă de balon, din sticlă foarte rezistentă și care are la partea inferioară un spațiu cu mercur cu suprafața liberă, cu rolul de catod, iar în părțile laterale are doi sau mai mulți anodi de grafit. Provoacă, printr-un anod separat, un arc electric între catod și anod, baza arcului electric se află pe suprafața catodului de mercur, unde constituie o pată luminoasă, numită „pata catodică”. În tub aflîndu-se vapori de mercur chiar la temperatura obișnuită, fluxul de electroni care pornește de la catod, prin fenomenul de emisiune auto-electronică (rece), ionizează prin șoc atomii mercurului aflat în stare de vapori, smulge electronii din ei, iar aceștia îngroașă fluxul electronic care este accelerat spre anod. Ionii pozitivi de mercur, rămași după plecarea electronilor din atomi, se deplasează în sens invers spre catod.

Ionizarea vaporilor de mercur din globul redresorului este însoțită de apariția unei luminiscente violete intense; radiația este foarte bogată în raze ultraviolete. Prin tub începe să circule curentul electric.

Intercalat într-un circuit de curent alternativ, redresorul cu mercur permite trecerea curentului într-un singur sens și anume de la anozii de grafit la pata catodică de pe suprafața mercurului (sensul convențional). Redresorul transformă astfel curentul alternativ în curent pulsator, folosit drept curent continuu. Pentru a se evita întreruperea curentului, redresorii cu mercur monofazați se construiesc cu doi anozii, care funcționează alternativ și pot redresa un curent de 50 A și 500 V.

Din globul de sticlă s-a scos aerul, iar vaporii de mercur din el au o presiune de 0,05 torri. În mercurul de la catod este introdus, străbătând peretele de sticlă, o bară de molibden. Anozii se află în ramuri laterale lungi, numite uneori și „coarnele” aparatului.

Pentru un curent de peste 500 A, baloanele de sticlă ale redresorilor cu mercur sînt înlocuite cu recipiente de fier, răcite în exterior cu apă. La redresorii metalici, anozii sînt introduși în canale interioare, spre deosebire de anozii din redresorii de sticlă, care au canalele exterioare.

O bună funcționare a redresorilor depinzînd de vidul din aparat, redresorii metalici au pompe al căror rol este de a menține în permanență un vid înaintat și constant. Cantitatea mare de ioni pozitivi și tensiunea mare de redresare pot face ca, la un moment dat, să ia naștere în redresor un „arc invers”, în care electrozii să aibă rolul inversat. Pentru a evita acest fenomen, cu consecințe grave pentru aparatele pentru care se redresează curentul, se dă ionilor un drum cît mai lung, canalele anodice fiind strîmte și lungi; pe de altă parte, suprafața anodului trebuie să fie curată și mai ales să nu conțină urme de metale alcaline sau alcalino-pămîntoase, la care lucrul de extragere al electronilor este mic și deci pot emite ușor electroni.

În U.R.S.S. s-au fabricat cu începere din 1941 redresori cu un singur anod (ignitroni), care sînt mult folosiți. Asemenea redresori cu mercur s-au răspîndit mult și în S.U.A. în epoca războiului 1940—1945, cînd numeroase fabrici de aluminiu au fost înzestrate cu redresori monoanodici cu mercur, de mare putere, cu răcire cu apă.

b) **Supapele cu gaz** sînt aparate ionice, utilizate de asemenea ca redresori. Ele folosesc fenomenul ionic pentru a redresa curentul alternativ. Aceste aparate redresoare vor fi descrise la capitolul de „Radiologie”, fiind folosite numai în instalațiile Röntgen.

4. REDRESORII ELECTRONICI

a) **Dioda.** Dintre tuburile electronice care pot servi drept redresori este utilizată mai mult lampa cu doi electrozi, cunoscută și sub denumirea de lampă diodă sau, mai simplu, diodă.

Acest tub electronic se construiește în numeroase tipuri.

Tuburile cu doi electrozi se folosesc în general pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu, adică pentru redresarea curentului. Utilizarea lor ca redresor, supapă sau ventil este legată de faptul că permit trecerea curentului într-un singur sens, ceea ce înseamnă că rezistența redresorului nu este aceeași pentru curenții de sens diferit. La tubul cu doi electrozi, rezistența inversă este infinit de mare, așa că, practic curentul nu poate trece decît în sensul direct, așa cum s-a arătat la descrierea efectului termoelectronic (efectul Edison).

b) **Kenotronul** este o diodă de tip special. El este alcătuit dintr-un balon de sticlă ale cărui dimensiuni și formă sînt determinate de condițiile de încălzire și de puterea maximă folosită. Forma balonului trebuie să

fie astfel aleasă încît să permită o distribuire uniformă a temperaturii pe suprafața lui și o răspîndire bună a căldurii produse. Balonul are o formă de sferă centrală, avînd cîte o parte cilindrică la capete (fig. 444) pentru trecerea electrozilor. Sticla trebuie să aibă un coeficient de dilatație aproximativ egal cu cel al pieselor metalice care leagă electrozii tubului de conductorii exteriori. Kenotronul fiind utilizat de cele mai multe ori la redresarea curentului de tensiune înaltă, de exemplu pentru tuburile Röntgen, unde tensiunile sînt de ordinul zecilor și sutelor de kilovolți, anodul este instalat totdeauna în partea opusă catodului, spre deosebire de diodele de tensiune joasă, cum sînt tuburile electronice redresoare pentru aparatele de radio etc., unde catodul și anodul intră în tub prin același soclu. Distanța dintre anodul și catodul kenotronului trebuie astfel calculată încît să nu se poată produce o străpungere, adică un „arc invers” în tub. Astfel, pentru o tensiune de redresat de 10 000 V, distanța dintre anod și catod trebuie să fie de circa 3 cm.

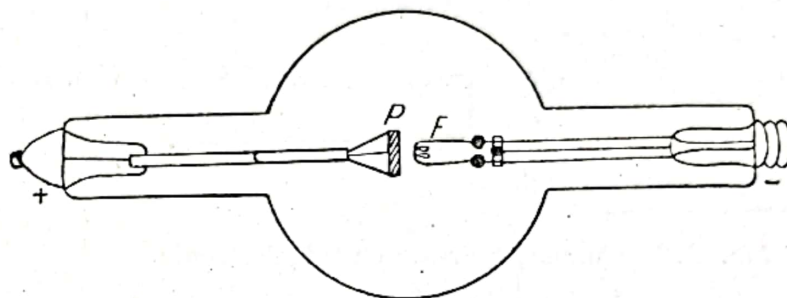


Fig. 444 — Kenotron.

Schema kenotronului este similară celei a diodei descrisă la studiul teoretic al fenomenului termoelectronic. Din kenotron s-a scos aerul (*kenos* = vid, în limba greacă). Catodul este format dintr-un filament care se încălzește de la un circuit separat, de joasă tensiune (8–10 V), pînă la incandescența roșie-închisă. Un reostat poate regla încălzirea și deci cantitatea de electroni emiși de filamentul incandescent. Anodul are o formă specială, de obicei de cilindru, care înconjură filamentul catodic, oferind astfel o suprafață foarte mare pentru primirea electronilor emiși de filament. Dacă în dispozitivul descris la schema lămpii diode legăm în locul sursei de curent continuu (bateria anodică) o sursă de curent alternativ, de exemplu bobina secundară a transformatorului unei instalații Röntgen, în circuitul kenotronului va circula curentul numai atunci cînd anodul se găsește la un potențial pozitiv față de catod. La semiperioada următoare, cînd anodul are

potențialul negativ față de catod, în circuitul anodic curentul se întrerupe. Rezultatul practic este că în circuitul anodic se stabilește un curent pulsator, de sens continuu, însă variabil în valoare, întocmai cum am arătat că se petrece la redresorii cu semiconductori.

Redresarea unei jumătăți de undă este mai puțin efecă, întrucît se utilizează numai jumătate din posibilitățile sursei de curent alternativ.

Schema cea mai utilizată pentru redresarea întregului curent alternativ și folosirea lui sub

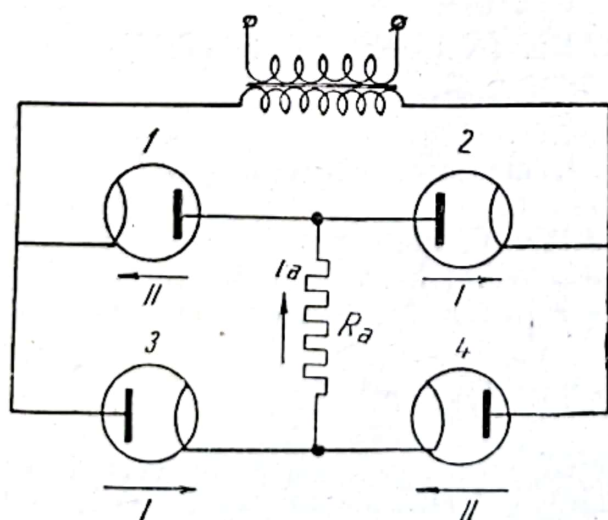


Fig. 445 — Redresarea curentului alternativ cu ajutorul a patru kenotroni.

formă de curent continuu este cunoscută sub numele de schema de redresare în punte, cu patru kenotroni.

În acest montaj se folosesc patru kenotroni: kenotronii 1 și 2 se leagă prin plăcile lor, iar cei notați cu 3 și 4 se leagă prin filamentele lor (fig. 445). Aparatul care primește curentul redresat, de exemplu tubul Röntgen reprezentat în figură prin rezistența R_a , se leagă în serie cu ambele grupuri de kenotroni, sub formă de punte.

Secundarul transformatorului care constituie sursa de alimentare este legat de perechea de tuburi 1 și 3, pe de o parte, și de perechea 2 și 4, pe de alta.

Urmărind pe schemă drumul celor două alternanțe ale curentului alternativ, constatăm că una din alternanțe poate circula după sensul săgeților prin tuburile 3 și 2, traversînd puntea în care se află tubul Röntgen, iar cealaltă alternanță circulează prin

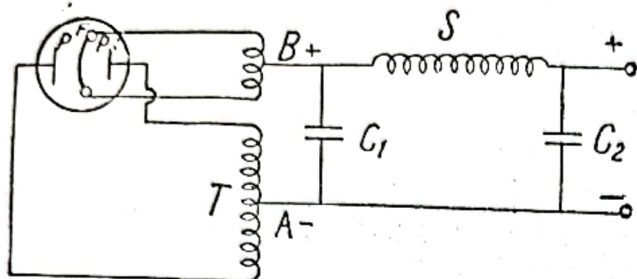


Fig. 446 — Montaj redresor cu tub electronic biplacă.

tuburile 4 și 1, trecînd prin tubul Röntgen. După cum arată săgeata de-a lungul rezistenței R_a , aceasta este permanent străbătută de un curent continuu. La descrierea montajelor radiologice vom dezvolta folosirea kenotronilor.

c) **Tubul biplacă** este unul din montajele utilizate ca redresare de joasă tensiune (fig. 446). În acest montaj, ambele plăci sînt conectate la cele două extremități ale bobinei T , străbătută de curentul alternativ al rețelei. În fiecare clipă, curentul trece, în lampă, între filamentul F și una din cele două plăci P și P' , care sînt pe rînd aduse la potențialul maxim, astfel că circuitul B al filamentului va fi totdeauna pozitiv față de mijlocul A al bobinei T . Se obține astfel între A și B un curent pulsator format dintr-o serie de semne de același sens, deci un curent continuu fără întreruperi.

Montajul mai cuprinde un filtru compus din condensatorii C_1 și C_2 în derivație pe circuitul de utilizare și o bobină S în serie, care se opune variațiilor de curent; prin această filtrare se obține un curent continuu constant, fără pulsații.

F. METODE DE MĂSURARE ÎN ELECTRICITATEA BIOLOGICĂ

Pentru determinările de forță electromotoare, rezistență și conductibilitate ale mediilor biologice și ale unora din aparatele folosite în electrologia medicală, se fac o serie de măsurători. Vom descrie cîteva din metodele utilizate în aceste măsurători, metode folosite, în general, în studiul electricității și adaptate specificului măsurătorilor în electricitatea biologică.

1. PUNTEA CU REZISTENȚE

Această metodă are ca bază teoretică legea curenților derivați a lui Kirchhoff. Metoda constă în determinarea valorii unei rezistențe cu ajutorul altor trei rezistențe de valoare cunoscută, toate patru fiind intercalate în ramurile unor circuite derivate.

Dacă vrem să măsurăm rezistența R_1 a unui conductor AC (fig. 447), alcătuit cu rezistența R_1 și cu alte trei rezistențe cunoscute R_2 , R_3 și R_4 un romb, ale cărui vîrfuri A și B se leagă cu bornele unui acumulator electric E . Celelalte două vîrfuri ale rombului se unesc printr-un conductor care constituie „puntea” în care se intercalează, în serie, un galvanometru. Circulînd curentul debitat de acumulator, prin punte trece un curent pe care-l indică galvanometrul G . Dacă însă prin încercări facem ca cele trei rezistențe cunoscute să aibă valori astfel încît prin galvanometrul G să nu treacă nici un curent, puntea va fi echilibrată.

În acest moment putem calcula pe R_1 din proporția următoare:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4},$$

celelalte trei rezistențe fiind cunoscute.

Cele trei rezistențe cunoscute se introduc în ramurile de circuit cu ajutorul cutiilor cu rezistențe; de aceea, uneori acest montaj se mai numește și *puntea cu rezistențe*.

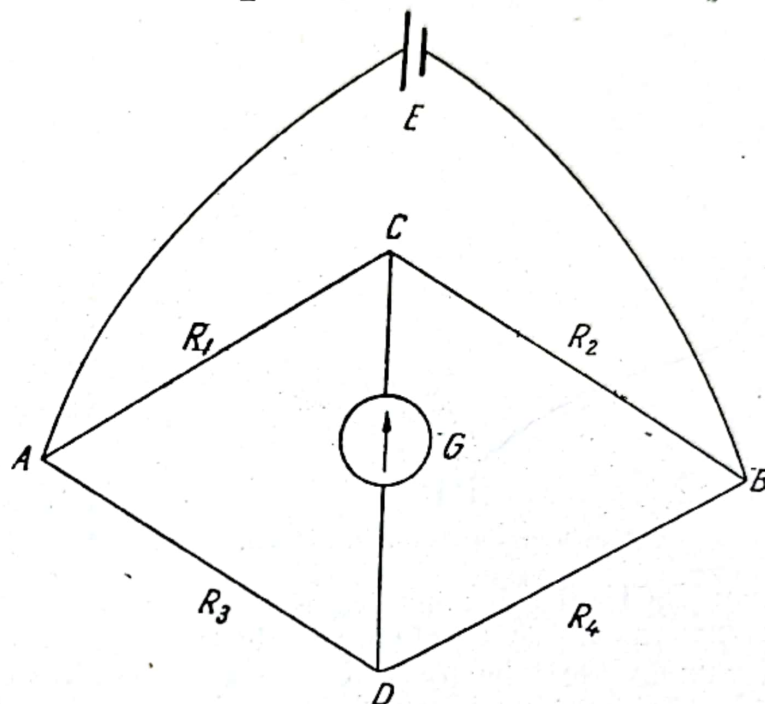


Fig. 447 — Puntea cu rezistențe.

2. PUNTEA WHEATSTONE

Această metodă, imaginată de S. H. Christie în 1833, folosită de W. Weber în 1842 și descrisă în amănunțime de Wheatstone în 1843, este o simplificare a punții descrise mai înainte, fiindcă înlătură cutiile cu rezistențe din două părți ale circuitului, înlocuindu-le cu două segmente determinate de un cursor (fig. 448) pe un fir metalic de lungime constantă.

Curentul, furnizat de o baterie B sau de un acumulator, trece printr-un fir calibrat și perfect omogen ab de 1 m lungime, așezat în fața unei rigle gradate. În ramura ad se află intercalată o cutie cu rezistențe avînd scoasă fișa la o rezistență anumită R , iar în ramura db se află intercalat conductorul a cărui rezistență x se măsoară. Mutînd cursorul punții de-a lungul riglei, el va determina la un moment dat un raport $\frac{ac}{cb}$, astfel ca galvanometrul A să arate că nu trece curent prin punte. În acel moment vom avea:

$$I_{ad} = I_{db} = I_1 \text{ și } I_{ac} = I_{cb} = I_2.$$

În partea superioară a figurii intensitatea

$$I_1 = \frac{V_a - V_d}{R} = \frac{V_d - V_b}{x}, \quad (1)$$

iar în partea de jos a figurii

$$I_2 = \frac{V_a - V_c}{R_{ac}} = \frac{V_c - V_b}{R_{cb}}. \quad (2)$$

În momentul cînd punctul d de deasupra se află la același potențial ca în cel analog de jos, adică c , atunci $V_c = V_d$, iar prin împărțirea egalităților precedente obținem

$$\frac{R}{x} = \frac{R_{ac}}{R_{cb}}. \quad (3)$$

Și cum la un fir bine calibrat, de formă perfect cilindrică și de structură omogenă, rezistențele sînt proporționale cu lungimile segmentelor de fir determinate de cursor pe firul de 1 metru, vom avea

$$\frac{R}{x} = \frac{ac}{cb}.$$

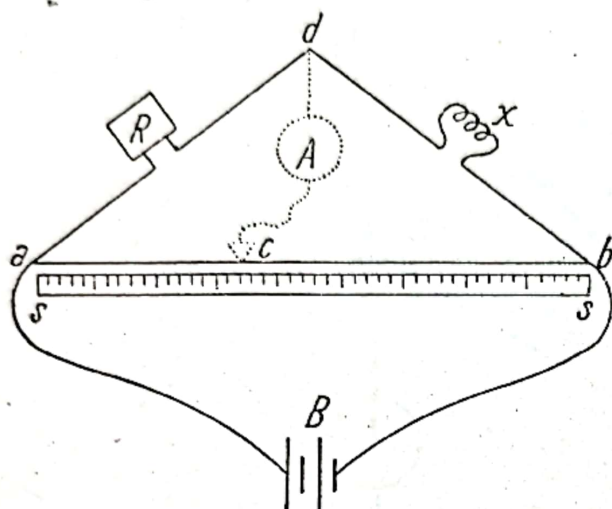


Fig. 448 — Puntea Wheatstone.

Rezultatele sînt cu atît mai precise cu cît lungimea ac este mai apropiată de cb ; în acest scop se caută ca rezistența cunoscută din cutia de rezistențe să fie aleasă de valoare foarte apropiată de cea presupusă a rezistenței necunoscute.

Dacă puntea este alimentată în curent alternativ, pentru sezișarea punctului zero, cînd puntea este echilibrată, se folosește telefonul în locul galvanometrului.

Drept generator electric se întrebuintează un transformator sau o bobină de inducție obișnuită. Telefonul biauicular sau o singură cască telefonică este legată cu unul din poli la cutia cu rezistențe, de aceeași parte de care am legat și conductorul x , iar celălalt pol la cursorul punții. În momentul cînd, la deplasarea cursorului, nu mai auzim în telefon zgomotul caracteristic dat de curentul bobinei, sau cînd obținem un zgomot minim, care se intensifică de îndată ce deplasăm cursorul, acesta se află în punctul care determină raportul dintre segmentele firului punții.

Cu puntea Wheatstone se pot face măsurători cu o aproximație de 0,1 ohmi. Metoda are dezavantajul că la valoarea rezistenței măsurate și a rezistenței din cutie se mai adaugă și rezistența conductorilor de legătură, care de multe ori este mai greu de controlat.

3. METODA COMPENSAȚIEI (POGGENDORFF)

Metoda compensației, imaginată de Poggendorff, este utilizată la determinarea forței electromotoare furnizată de un element electric de care ne servim în laborator.

Pentru a face această determinare folosim un dispozitiv care ne permite să măsurăm diferența de potențial dintre bornele (polii) lui, cînd elementul nu lucrează. În acest scop, un fir (fig. 449) subțire, lucios și perfect calibrat ab este străbătut de curentul unei baterii auxiliare sau al unui acumulator B . Potențialul cade în circuitul în care se află firul metalic, în mod regulat, de la polul pozitiv spre cel negativ. Dacă această diferență de potențial este de aproximativ 2 V, fără a fi însă cunoscută precis, putem găsi de-a lungul firului ab o poziție c pentru care diferența de potențial $V_c - V_b$ este exact egală cu valoarea forței electromotoare de 1,018 39 V a elementului normal Weston. Dacă creăm deci un circuit bWc în

care avem elementul Weston intercalat între punctele b și c , forța electromotoare a circuitului aBb va fi echilibrată de cea a circuitului cWb și prin galvanometrul A nu va trece nici un curent. În practică deplasăm cursorul c pe firul calibrat pînă ce galvanometrul A arată zero.

Dacă în locul elementului etalon W aducem acum în circuit un alt element x , vom deplasa cursorul c pînă într-un punct d , astfel încît galvanometrul să arate din nou zero.

În acest moment avem:

$$\frac{V_d - V_b}{V_c - V_b} = \frac{db}{cb}$$

De aici rezultă că forța electromotoare căutată a elementului x este:

$$x = \frac{1,018\ 39\ db}{cb} \text{ volți.}$$

Metoda compensației a lui Poggendorff, numită și metoda punții cu fir sau metoda de zero, este o metodă foarte precisă.

Electrometrul capilar. În locul unui galvanometru obișnuit se poate folosi, pentru indicarea echilibrului, electrometrul capilar al lui Lippmann.

Experiența a arătat că tensiunea superficială a mercurului, acoperit cu o soluție diluată de acid sulfuric, se micșorează prin adăugarea unei sări de mercur. Avînd mercur la ambii electrozi, și deasupra o soluție diluată de H_2SO_4 , se formează în jurul mercurului o regiune în care se află și sulfat mercurios. Trecînd curentul, la catod se depune mercur metalic, deci concentrația sulfatului mercurios se micșorează; tensiunea superficială crește. Dimpotrivă, la anodul de mercur, sulfatul mercurios se concentrează prin trecerea mercurului în soluție și tensiunea superficială se micșorează.

Dacă un curent (fig. 450) trece prin electrod în mercurul din a , apoi prin soluția diluată de acid sulfuric saturată cu sulfat mercurios b la suprafața c a mercurului din capilar și apoi la d , unde se află sudat celălalt electrod, tensiunea superficială a mercurului se modifică în capilar, așa că meniscul c se deplasează. Mercurul își recapătă repede poziția de echilibru

fiindcă forța electromotoare care a provocat schimbarea tensiunii superficiale este imediat anulată de polarizarea care are loc. Diferența de potențial dintre a și d se măsoară astfel foarte repede și direct.

Domeniul de măsurare a unui astfel de electrometru capilar se întinde de la 0,001 pînă la 1 V; la tensiuni mai mari apar degajări de gaze care stînjenesc operația.

Pentru a fi utilizat în condiții cît mai bune, electrometrul capilar trebuie să aibă mercurul distribuit astfel: în ramura cu rezervorul sferic, pînă la jumătate din înălțimea rezervorului, iar în ramura cealaltă, cam pînă aproape de jumătatea înălțimii ramurii; în capilar, nivelul mercurului trebuie să fie intermediar față de cele două ramuri.

Electrometrul este fixat în poziție verticală, pe un postament greu, pentru a avea stabilitate.

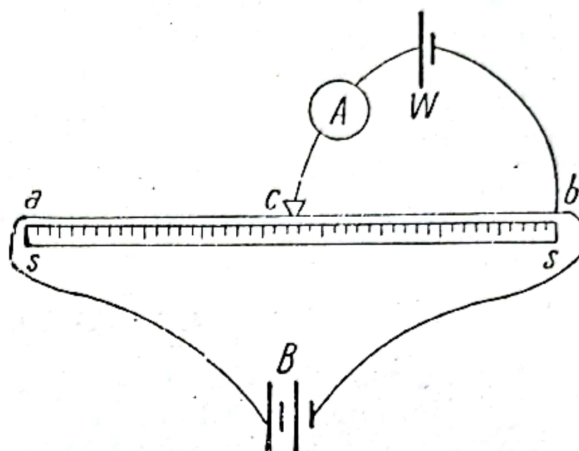


Fig. 449 — Puntea Poggendorff.

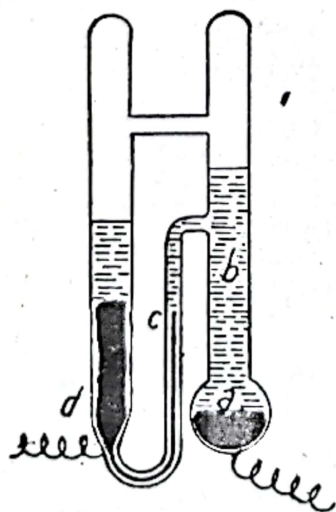


Fig. 450 — Electrometrul capilar.

Cu ajutorul unei lupe se poate observa meniscul convex din *c*. Aparatul este foarte sensibil și poate servi, atât ca indicator de zero, cât și pentru măsurarea unor forțe electromotoare foarte mici, așa cum întâlnim în cercetările de fiziologie, fiindcă el urmărește modificările rapide de potențial, cu o inerție destul de redusă.

Pentru ca electrometrul capilar să poată fi folosit ca aparat de zero în metoda punții cu fir, trecerea curentului prin electrometru trebuie să dureze numai o clipă și să fie urmată de o scurt-circuitare a aparatului; aceasta se face cu un întrerupător Morse cu trei borne (fig. 420) sau cu o cheie de contact.

Punctul zero se găsește prin deplasarea treptată a cursorului punții și observarea prin lupă a meniscului de mercur în capilarul electrometrului. Între cele două poziții ale cursorului pentru care mișcarea meniscului s-a inversat, căutăm poziția cursorului pentru care meniscul mercurului rămâne invariabil.

4. PUNTEA KOHLRAUSCH

Această punte este utilizată la măsurarea conductivității unui lichid.

Spre deosebire de solide, la care conductanța are valoarea inversă a rezistivității, la lichidele conductibile (soluții electrolitice), conductibilitatea electrică este datorită stării de ionizare, adică de disociație electro-litică a substanței lichide sau dizolvate.

În una din metodele de determinare a conductivității se folosește curentul alternativ care, din cauza frecvențelor schimbări de sens, nu poate produce efecte de polarizare. Lichidul studiat este așezat într-un vas Ostwald (fig. 451) care conține doi electrozi formați din lame paralele de platină; electrozii sunt acoperiți cu negru de platină în scopul de a se reduce polarizarea, căci, având o structură spongioasă, negrul de platină dă electrozilor o suprafață de contact considerabilă.

Cu ajutorul punții lui Kohlrausch, asemănătoare punții Poggendorff și celei Wheatstone, se măsoară rezistența stratului de lichid care separă cei doi electrozi de platină. În X se află soluția din vasul Ostwald, în R_3 o rezistență fixă, iar în R_1 și R_2 două rezistențe variabile determinate de cursor pe firul calibrat. În punte este intercalat un telefon.

Făcând să varieze rezistențele pînă la stingerea sunetului din telefon, se obține echilibrarea punții și se poate calcula rezistența. Pentru a obține valoarea rezistivității, trebuie să se aducă electrozii la o distanță de 1 cm între ei, iar suprafața lor să fie de cîte 1 cm².

În practica de laborator, vasul Ostwald este înlocuit cu un vas mic de sticlă în care se află sudate doi electrozi de platină în formă de plăci mici, cu suprafața de 1 cm², așezați față în față, la o distanță de 1 cm. Firele de platină cu care se continuă electrozii sînt sudate în două brațe în care se află mercur.

Uneori se face o determinare relativă, care constă din determinarea conductibilității unui lichid, în raport cu un lichid etalon, de conductibilitate cunoscută.

La determinarea rezistenței și calculul conductibilității trebuie să ținem seama de faptul că un

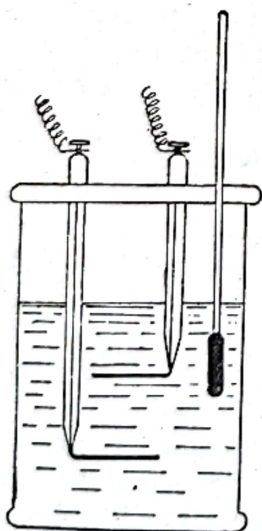


Fig. 451—Vas Ostwald pentru măsurarea conductibilității lichidelor.

corp are conductibilitatea în raport invers cu rezistența; conductivitatea λ se definește deci ca fiind inversul rezistivității ρ .

$$\lambda = \frac{1}{\rho}.$$

Măsurarea conductibilității specifice se reduce deci la măsurarea rezistenței specifice a conductorului și calcularea inversului acestei valori. Unitatea de conductanță $\frac{1}{R}$ se numește ohm-reciproc (sau mho).

Pentru a determina conductibilitatea soluțiilor se cer precauții deosebite, atât în legătură cu starea lichidă a substanței de măsurat, cât și cu apariția fenomenelor caracteristice soluțiilor. Când printr-o soluție de electrolit trece un curent electric, începe să se producă polarizarea electrozilor, ceea ce ne dă, la măsurătorile pe care le facem, rezultate mai mici decât cele reale. Se evită acest inconvenient introducând în montajul punții un curent alternativ, produs de o mică bobină de inducție, iar în locul galvanometrului, al cărui indicator un poate urmări fără inerție variațiile curentului, se introduce în punte un telefon care este sensibil la asemenea curenți.

Determinările cu ajutorul punții cu fir ne dau rezistența electrică R a stratului de lichid conductor cuprins între electrozii vasului de conductibilitate.

De la această valoare R putem trece la conductibilitate în modul următor. Expresia rezistenței

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

se mai poate scrie sub forma

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{s}. \quad (1)$$

Raportul $\frac{1}{\rho}$ reprezintă conductivitatea λ ; însemnând cu k factorul $\frac{l}{s}$ formula (1) se mai poate scrie

$$\lambda = \frac{k}{R}. \quad (2)$$

Coeficientul k se numește capacitatea de rezistență a vasului de conductibilitate folosit, și valoarea lui este dată de distanța l dintre electrozi și de suprafața lor comună. Constanta k se determină pentru un anumit vas măsurând rezistența R la o soluție pentru care cunoaștem conductivitatea λ . La aceste măsurători se întrebuintează de obicei soluții de KCl de diferite concentrații.

Trebuie să arătăm că la soluțiile electrolitice conductibilitatea crește cu concentrația, numărul de ioni crescând cu cantitatea de substanță dizolvată.

Dacă însă considerăm două soluții electrolitice: una având o moleculă-gram de KCl dizolvată într-o cantitate mare de apă, astfel ca, practic, fiecare moleculă să fie disociată, și alta cu o moleculă-gram de Na_2SO_4 , constatăm că, pentru aceasta din urmă, avem un număr dublu de ioni de sodiu. De aceea, pentru comparare trebuie să luăm o jumătate de mole-

culă-gram, adică un echivalent-gram din substanța în care ionii sînt bivalenti, o treime la AlCl_3 etc.

Se definește ca fiind conductibilitate moleculară sau respectiv conductibilitate echivalentă mărimea $\lambda_m = \frac{\lambda}{c_m}$, care reprezintă raportul dintre conductivitatea soluției și concentrația moleculară sau echivalentă. Pentru electrolitele formate din ioni monovalenți (NaCl , CH_3COOH etc.), conductibilitatea moleculară este egală cu conductibilitatea echivalentă.

În ce privește lichidele din organism, trebuie arătat că conductivitatea serului sanguin normal este cuprinsă între 0,010 6 și 0,011 9 la temperatura de 25° , iar la temperatura de 37° ea este de 0,014 0.

Lichidul cefalorahidian are la $16,7^\circ$ conductivitatea 0,012 5, iar urina normală are la 20° conductivitatea cuprinsă între 0,020 0 și 0,015 0.

5. DETERMINĂRI POTENȚIOMETRICE DE pH

Determinarea acidității diferitelor medii biologice este una din măsurătorile foarte necesare și curente în lucrările din diferitele domenii ale medicinei.

Prin titrarea chimică se obține aciditatea *totală* sau *potențială*, echilibrul ionilor în prezență modificîndu-se în fiecare moment prin combinarea ionilor H^+ și OH^- .

Determinarea acidității *actuale* se face pe cale fizică, măsurînd prin metoda potențimetrică sau electrometrică mărimea pentru care Sørensen a introdus în 1909 denumirea de pH, și care este egală cu logaritmul inversului concentrației unei substanțe în ioni de hidrogen.

La un element (pilă) de concentrație, în genul celor descrise în capitolul consacrat generatorilor chimici de curent continuu, forța electromotoare E , stabilită între cei doi electrozi, este legată de concentrațiile soluțiilor de la electrozi, prin formula lui Nernst:

$$E = \frac{RT}{F} \cdot \ln \frac{C_1}{C_2} \quad (1)$$

unde R este constanta gazelor perfecte, T este temperatura absolută ($^\circ\text{K}$), F este sarcina unui ion-gram monovalent ($96494 \approx 96\,500$ coulombi, numit și numărul lui Faraday sau „faraday”) și C_1 și C_2 sînt concentrațiile soluțiilor de la electrozii pilei de concentrație.

Substituind valorile numerice ale lui R și F în expresia (1), dînd lui T valoarea sa de $291,1^\circ\text{K}$ pentru temperatura de 18° și trecînd de la logaritmi neperieni la cei zecimali, obținem

$$E = -0,057\,73 \cdot \log \frac{C_1}{C_2}.$$

Determinarea potențimetrică fiind posibilă numai prin comparație, trebuie să cunoaștem concentrația C_1 în ioni hidrogen a uneia din soluțiile cu care se lucrează; măsurînd forța electromotoare a elementului, vom putea calcula concentrația C_2 a ionilor H^+ ai celeilalte soluții.

Concentrația în ioni hidrogen ai unei soluții se poate determina formînd o pilă din: a) un electrod normal de hidrogen; b) o punte de legătură conținînd o soluție de clorură de potasiu; c) soluția a cărei concentrație în ioni hidrogen vrem s-o determinăm (intră în componența celui-

lalt electrod al pilei). Se măsoară apoi forța electromotoare a acestei pile astfel obținută și se fac calculele despre care va fi vorba mai departe.

a) **Electrodul de hidrogen** este format dintr-o lamă de platină, introdusă pe jumătate într-o soluție a cărei concentrație în ioni H^+ este cunoscută (fig. 452). În prealabil, lama de platină se acoperă cu negru de platină prin introducerea ei, ca electrod negativ, într-un electrolizor care conține o soluție de acid platinoclorhidric H_2PtCl_6 . Lama de platină, acoperită electrolytic cu negru de platină, se spală cu apă distilată și se introduce drept catod într-un vas cu acid sulfuric diluat. Se trece curentul timp de câteva minute, până ce electrodul este saturat cu hidrogenul degajat la catod în timpul electrolizei; apoi se spală și se introduce într-un recipient de formă tubulară care conține lichidul de referință. Printr-un tub lateral se trimite cu o viteză de 3—5 bule pe secundă un curent de hidrogen curat care menține saturarea electrodului cu hidrogen. Excesul de hidrogen se degajează prin orificiile inferioare ale recipientului tubular; acestea se află sub nivelul lichidului, pentru a împiedica intrarea aerului.

Al doilea electrod al pilei, care servește la determinarea potențimetrică a pH-ului unei soluții, este un electrod de platină acoperit de asemenea cu negru de platină și menținut într-o atmosferă de hidrogen; acest electrod se introduce în soluția al cărei pH se determină.

Măsurarea forței electromotoare a pilei astfel alcătuită se face prin metoda Poggendorff, în circuit fiind intercalat un electrometru capilar sau un galvanometru foarte sensibil. Se obține astfel valoarea E , care permite calculul concentrației ionilor de hidrogen și deci al pH-ului.

Electrodul de platină platinată, saturat cu hidrogen, ține locul unui electrod de hidrogen, care nu se poate realiza în alt mod. Totuși, este dificil să se mențină pe această cale un mediu cu concentrația constantă în ioni de hidrogen. De aceea se utilizează, ca electrod de referință, mai curînd electrodul de calomel, a cărui manipulare este mai ușoară decît a electrodului de hidrogen.

b) **Electrodul de calomel** este constituit dintr-un vas tubular avînd pe fund o cantitate de mercur, deasupra un strat de calomel $HgCl$, iar peste acest strat se află o soluție de clorură de potasiu KCl . Diferența de potențial dintre electrodul de calomel, care conține o soluție de KCl $n/1$, și un electrod de hidrogen normal este egală cu 0,286 V, dacă legătura este și ea făcută cu o soluție normală de KCl (la temperatura de 20°).

În tabelul 42, sînt arătate diferențele de potențial, în volți, dintre electrodul de calomel și electrodul de hidrogen, pentru câteva temperaturi și concentrații și pentru puntea de legătură formată din soluție de KCl de diferite concentrații.

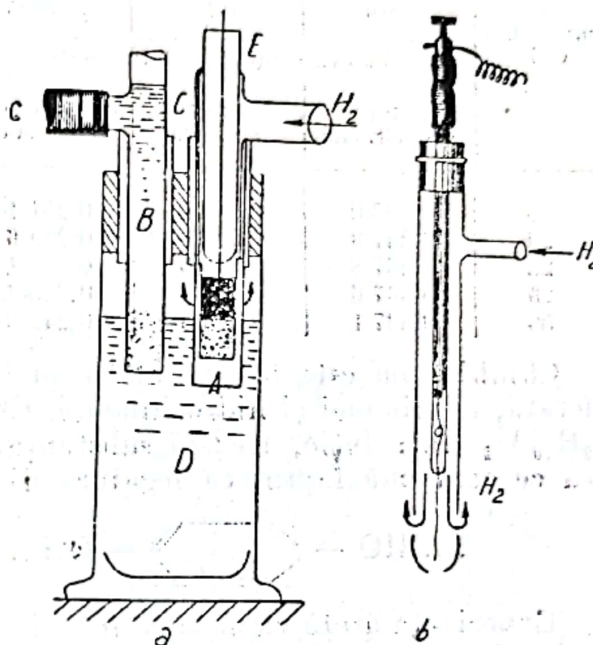


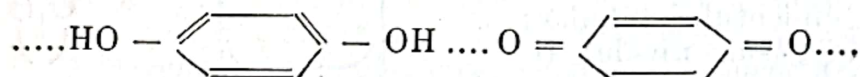
Fig. 452 — Electrodul cu soluția de determinat (a) electrodul normal de hidrogen (b).

Precizia determinărilor potențimetrice făcute cu acest electrod este de ordinul zecimilor de mV, ceea ce corespunde cu 0,01 pH.

Tabelul 42

Diferența de potențial (în volți) dintre electrodul de calomel și cel de hidrogen			
Temperatura (°C)	Concentrația în KCl a electrodului de calomel		
	n/10	n/1	Saturat
	Puntea conține KCl în soluție		
	Soluție decinormală	Soluție normală	Soluție saturată
18	0,338 0	0,286 5	0,251 1
20	0,337 9	0,286 0	0,249 6
22	0,337 8	0,285 5	0,248 1
25	0,337 6	0,284 8	0,245 4
30	0,337 1	0,283 5	0,242 0

Chinhidrona este o combinație moleculară labilă, cristalizată, intens colorată, a chinonei și hidrochinonei. Chinhidrona are formula moleculară $C_{12}H_{10}O_4$. În soluție, această substanță se disociază în componentele sale, ceea ce confirmă faptul că legătura dintre aceste componente este slabă.



Experiența arată că dacă se introduce într-o soluție de chihidronă un fir de platină curat, acesta se înconjură imediat cu o pătură foarte fină de hidrogen, care se menține constantă în jurul firului de platină. Legind acest electrod, astfel realizat, cu un electrod de calomel, se obține o pilă în care hidrogenul este menținut în cantitate constantă prin fenomenul de reducere a chinonei în hidrochinonă și prin moleculele de hidrogen furnizate de hidrochinonă în procesele care se desfășoară la electrod.

Pentru alcătuirea electrodului de chihidronă se dizolvă chihidrona solidă în substanța căreia vrem să-i determinăm pH-ul, și în această soluție se introduce o lamă sau un fir de platină. Acest electrod de chihidronă (care este electrodul pozitiv) se leagă de un electrod de calomel (care este electrodul negativ) cu ajutorul unei punți și se măsoară forța electromotoare la bornele pilei astfel construită.

Folosind la prepararea unui electrod de chihidronă o soluție diluată de acid, de exemplu n/1 000, și legind acest electrod de un electrod de hidrogen aflat într-o soluție de aceeași concentrație a aceluiași acid, se obține între cei doi electrozi o diferență de potențial de 0,704 2 V la temperatura de 18°. Diferența este constantă și pentru alte concentrații, dacă acestea sînt identice la ambii electrozi.

Elementul reversibil cu electrodul de calomel și de chihidronă

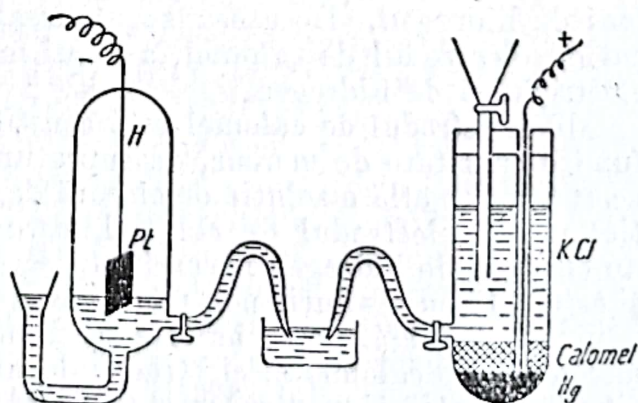


Fig. 453 — Pila cu electrod de calomel.

servește la măsurarea pH-ului pentru valori cuprinse între 2 și 8. În soluții alcaline cu $\text{pH} > 8$, hidrochinona nu mai poate da hidrogenul necesar unei bune funcționări a electrodului.

Determinând diferența de potențial dintre electrodul de calomel și cel de chinhidronă, care conține, după cum am arătat, și lichidul de examinat, se obține valoarea ϵ volți. Diferența de potențial dintre electrodul de calomel și cel de hidrogen fiind de 0,251 1 V la 18°, diferența de potențial dintre electrodul de chinhidronă și cel de hidrogen fiind de 0,704 2 V, determinându-l pe ϵ cu ajutorul punții Poggendorff, putem calcula valoarea lui E :

$$E = 0,704\ 2 - 0,251\ 1 - \epsilon = 0,453\ 1 - \epsilon.$$

Având astfel pe E determinat, se folosesc relații stabilite pentru calcularea pH-ului; aceste relații duc la expresia

$$\text{pH} = \frac{0,453\ 11 - \epsilon}{0,057\ 73},$$

care ne dă valoarea pH-ului substanței cercetate.

Determinările potențiometrice sau electrometrice de pH fiind foarte utilizate în cercetările de biologie, fiziologie, medicină etc., s-au construit aparate care cuprind electrozii și puntea, și unde, introducând substanța de cercetat, se poate citi, pe cadranul galvanometrului, direct pH-ul soluției.

Aceste aparate potențiometrice se numesc pH-metre.

IV. CURENȚII DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

În afară de curenții alternativi de frecvență joasă, sînt utilizați în medicină, ca și în numeroase și importante domenii ale tehnicii, curenți a căror frecvență trece de 10 000 Hz. Acești curenți se numesc curenți de înaltă frecvență.

A. CIRCUITUL OSCILANT

Se produc curenți de înaltă frecvență cu ajutorul unor alternatori care pot furniza curenți de frecvență pînă la 50 și chiar 100 kHz; acești curenți nu pot fi însă utilizați în medicină. Pentru scopuri medicale, curenții de înaltă frecvență se produc, fie prin descărcări oscilante ale condensatorilor (metodă mai veche), fie prin generatori cu tuburi electronice, care este metoda modernă.

Cel mai simplu mijloc de a obține un curent de înaltă frecvență este descărcarea oscilantă a unui condensator încărcat. Descărcarea unui condensator cu ajutorul unui conductor cu o rezistență mare se face sub formă de curent continuu. Dacă însă rezistența conductorului este mică, are loc fenomenul de descărcare oscilantă. Această descărcare are loc în modul următor:

Aplicînd o diferență de potențial armăturilor unui condensator C , aflat într-un circuit care cuprinde o bobină L și o rezistență R (fig. 454), și suspendînd apoi alimentarea, se constată următoarele: dacă nu am fi avut bobina, curentul ar fi trecut prin circuit pînă ce potențialele celor două plăci ale condensatorului ajung la un potențial egal.

Experiența arată care este valoarea maximă a rezistenței R a circuitului, în funcție de capacitatea condensatorului C și a inductanței bobinei de autoinducție L : descărcarea oscilantă cere îndeplinirea inegalității.

$$R < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Pentru valorile lui R corespunzând inegalității $R > 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$, descărcarea va fi continuă, curentul anulinându-se fără a-și schimba sensul.

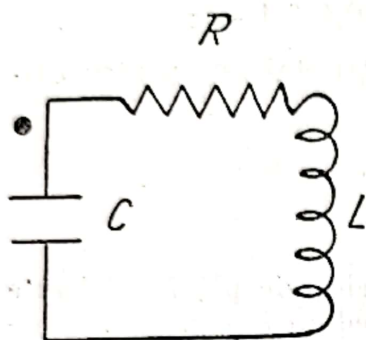


Fig. 454 — Schema circuitului oscilant.

Din cauza bobinei, procesul decurge în alt mod: în momentul în care potențialele armăturilor se egalează, forța electromotoare de autoinducție, creată de bobină, întreține un curent care produce reîncărcarea armăturilor. În urma acestei reîncărcări, ia naștere în circuit un nou curent, dar de sens contrar; fenomenul se repetă, dînd naștere unor oscilații. Întrucît o parte din energia curentului se consumă pentru dezvoltarea căldurii, potrivit legii Joule-Lenz, în rezistența R , oscilațiile se amortizează treptat; amortizarea este cu atît mai slabă cu cît rezistența R este mai mică, iar la limită, cînd $R = 0$, oscilațiile sînt, teoretic, neamortizate.

Dacă rezistența este suficient de mică, perioada T a descărcării oscilante se determină cu ajutorul formulei lui Thomson:

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Această formulă arată că perioada oscilațiilor va fi cu atît mai mare, cu cît capacitatea și inductanța circuitului vor fi mai mari.

Frecvența oscilațiilor este reprezentată prin expresia

$$\nu = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}},$$

perioada și frecvența avînd valori inverse. După cum s-a mai arătat, frecvența ν este legată de lungimea de undă a oscilației prin relația

$$\nu = \frac{c}{\lambda},$$

unde c este viteza de propagare a undelor electromagnetice și λ este lungimea de undă.

Se pot face o serie de analogii intuitive între oscilațiile electrice și cele mecanice, hidraulice etc. Un pendul scos din poziția de echilibru trece, din cauza inerției, prin poziția de echilibru, în partea opusă și continuă să facă mișcări oscilatoare; acestea se amortizează treptat din cauza forțelor de frecare. În oscilațiile electrice, bobina de autoinducție are rolul inerției, iar rezistența ohmică are rolul rezistenței mecanice. Analogia apare și mai evidentă în considerațiile energetice. În timpul oscilațiilor pendulului, energia potențială a pendulului scos din starea de echilibru trece în energie cinetică, pe care pendulul o capătă trecînd din nou prin poziția sa de echilibru și invers.

La încărcarea condensatorului, sistemului i se dă o rezervă de energie electrică (potențială). În figura 455 se văd între armăturile condensatorului liniile care reprezintă cîmpul electric. La descărcarea condensatorului apare un curent electric care creează în solenoid un cîmp magnetic cu energia sa, analogă cu energia cinetică a pendulului în mișcare. Este apoi reprezentată, prin linii punctate, prezența cîmpului magnetic în interiorul spirelor solenoidului; se vede cum se produce mai departe reîncărcarea condensatorului cînd energia cinetică trece în forma de energie potențială a cîmpului electric al condensatorului etc.

Circuitul cu bobină și condensator se numește circuit oscilant.

Șirul de unde care se succed în cursul unei descărcări se mai numește și tren de unde; fiecare tren de unde este format de un număr cu atît mai mare de alternanțe cu cît rezistența din circuit va fi mai mică.

B. GENERATORI DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ CU OSCILAȚII AMORTIZATE

Aparatele care produc curenți de înaltă frecvență utilizînd descărcarea condensatorilor sînt de cîteva tipuri. În dezvoltarea, în decurs de peste o jumătate de secol, a aplicațiilor medicale ale înaltei frecvențe, au fost folosite la început aparatele Tesla și d'Arsonval.

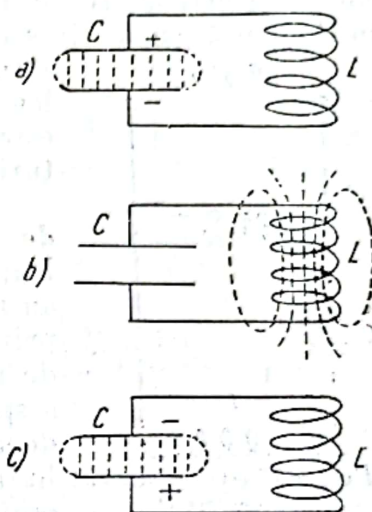


Fig. 455 — Cîmpul electric și cîmpul magnetic la descărcarea condensatorului.

1. GENERATORUL TESLA

Generatorul Tesla este primul dispozitiv cu care s-au produs curenții de înaltă frecvență folosiți în medicină. Acest aparat se compune dintr-un circuit oscilant cu condensator și bobină de autoinducție (self); circuitul are o întrerupere ale cărei capete sînt prevăzute cu doi poli între care apar scînteii; dispozitivul se numește scînteietor sau eclator. O bobină de inducție furnizează curentul necesar încărcării condensatorului (fig. 456). Cînd în secundarul bobinei de inducție se produce o alternanță, aceasta încarcă condensatorul; tensiunea dintre armături crește pînă atinge potențialul exploziv al scînteietorului. În acest moment începe producerea oscilațiilor electrice, prin descărcarea oscilantă a condensatorului C . Durata acestei descărcări este foarte mică; pînă să apară alternanța, și deci descărcarea următoare, trece un interval foarte mare în raport cu durata extrem de mică a descărcării.

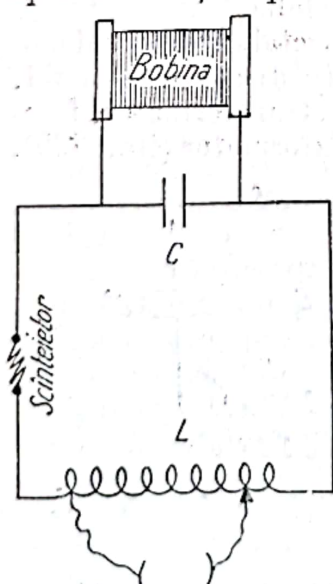


Fig. 456 — Generatorul de înaltă frecvență Tesla.

Acest generator prezintă inconveniente pentru aplicațiile medicale, fiindcă poate da naștere la accidente grave; acestea se pot produce, fie în cazul că electrozii eclatorului vin în contact, fie că dielectricul condensatorului este străpuns. În cazurile menționate pătrund în circuitul de utilizare

(care este o parte din solenoidul de autoinducție sau chiar întreaga bobină) curenți de joasă frecvență, care, la anumită diferență de potențial și intensitate, sînt primejdioși pentru bolnav.

2. GENERATORUL D'ARSONVAL

Acest generator este o variantă a montajului Tesla; el este mai puțin primejdios și prezintă și o serie de alte avantaje. În montajul d'Arsonval, condensatorii se află pe cele două ramuri ale circuitului oscilant, care sînt în legătură cu polii secundarului bobinei de inducție; ei au armăturile interne legate de acești poli, iar armăturile externe legate prin solenoidul de autoinducție. Scînteietorul este montat în derivație (fig. 457) și descarcă armăturile interne ale condensatorului.

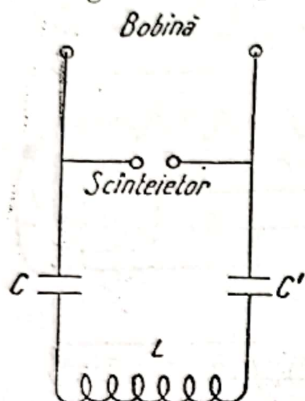


Fig. 457—Generatorul d'Arsonval.

Instalația d'Arsonval pentru producerea curenților de înaltă frecvență funcționează în modul următor. După ce condensatorii încărcăți de bobina de inducție au atins potențialul exploziv, fiecare întrerupere din primarul bobinei de inducție producînd o undă indusă de ruptură în secundarul bobinei, iar această undă sosind la condensator peste potențialul maxim, condensatorii se descarcă printr-o scînteie la eclatori; în același timp, în solenoidul L se produc o serie de oscilații succesive. Aceste oscilații își păstrează tot timpul perioada T , dar amplitudinea lor descrește rapid ca și la instalația Tesla, pînă la o amortizare completă. Procesul se repetă. Deoarece numărul trenurilor de unde produs depinde de frecvența întreruperilor, și cum întrerupătorii bobinei de inducție nu pot da decît maximum cîteva sute de întreruperi pe secundă, curentul de înaltă frecvență va fi format din cîteva sute de șiruri de unde pe secundă. Un șir de unde se scurge cam în $1/50\,000$ dintr-o secundă; intervalul (pauza) dintre două șiruri de unde succesive este deci de aproximativ 500 de ori mai mare decît durata unei oscilații amortizate. Aceasta arată că, alimentînd circuitul oscilant cu o bobină de inducție, oricît de perfecționată, puterea electrică obținută sub formă de curenți de înaltă frecvență este foarte slabă.

În această instalație, circuitul de utilizare poate fi conectat direct la solenoid (fig. 458) și poate fi variat cu ajutorul unui reostat, fie direct pe solenoid, fie pe circuitul de utilizare. Se poate face aplicarea și prin transformator, folosind pentru circuitul de utilizare secundarul unui transformator (fig. 459).

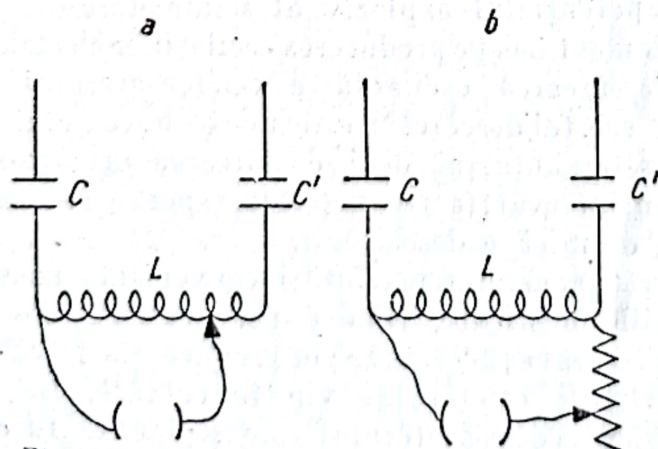


Fig. 458—Conectarea circuitului de utilizare direct la solenoid.

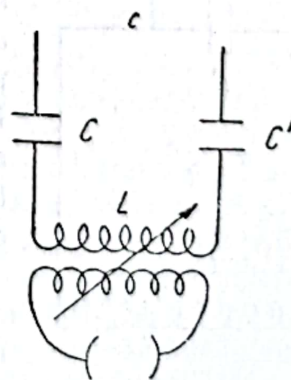


Fig. 459—Conectarea circuitului de utilizare prin transformator.

3. GENERATORI DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ CU TRANSFORMATOR

Montajul d'Arsonval avînd numeroase inconveniente, s-a realizat un generator de înaltă frecvență alimentat de la rețeaua de curent alternativ. Această schemă prezintă și ea unele dificultăți, ca de exemplu formarea unui arc electric între polii scînteietorului, ceea ce împiedică descărcarea oscilantă. În afară de aceasta, undele de înaltă frecvență se propagă pînă la transformator și dau scînteii între spirele secundarului, ceea ce duce uneori la distrugerea izolației.

Pentru a remedia toate aceste dificultăți relevate de practică, montajul este astfel alcătuit (fig. 460): în circuitul primar al transformatorului sînt intercalate un întrerupător bipolar $I I'$, un ampermetru mA , un voltmetru V și o rezistență variabilă (reostat) R_1 pentru controlul și reglarea curentului de la rețeaua care alimentează instalația.

În circuitul secundar al transformatorului se introduc condensatorii C_1 ; C_2 ; C_3 ; C_4 ; prin descărcarea acestora se produce curentul de înaltă frecvență. Pentru a împiedica undele de înaltă frecvență să se întoarcă la secundarul transformatorului, se intercalează în circuit un sistem de apărare format din două rezistențe R_2 și R_3 și din condensatorii de gardă CG , așezați în derivație, în apropierea secundarului. Scînteietorul este așezat de asemenea în derivație, așa cum se vede în figură.

Pentru a evita formarea arcului electric la scînteietor, se construiesc trei feluri de scînteietori de formă deosebită:

1. scînteietorul cu aer liber are polii de wolfram în forma a două suprafețe circulare, paralele, apropiate, de dimensiuni relativ mari, așa încît scînteia este fracționată în numeroase scînteii mici, ceea ce împiedică formarea arcului și încălzirea;

2. scînteietorii cu atmosferă gazoasă, dielectrică, au polii în forma a două blocuri de cupru închise într-un recipient cuprinzînd hidrocarburi gazoase (CH_4 ; $C_2 H_6$); efluviile electrice descompun hidrocarburile, răcind scînteia;

3. scînteietorii rotativi constau din discuri mobile prevăzute cu virfuri și care se mișcă în fața unor electrozi fixe.

Cu o instalație cu transformatori se obține un curent de înaltă frecvență mult mai puternic decît cu montajele cu bobină de inducție. Șirurile de unde sînt mult mai numeroase, deoarece pentru fiecare alternanță apar la eclator sute de scînteii, iar pentru fiecare scînteie se obține un șir de unde. Pe lîngă micșorarea pe această cale a intervalului dintre șirurile

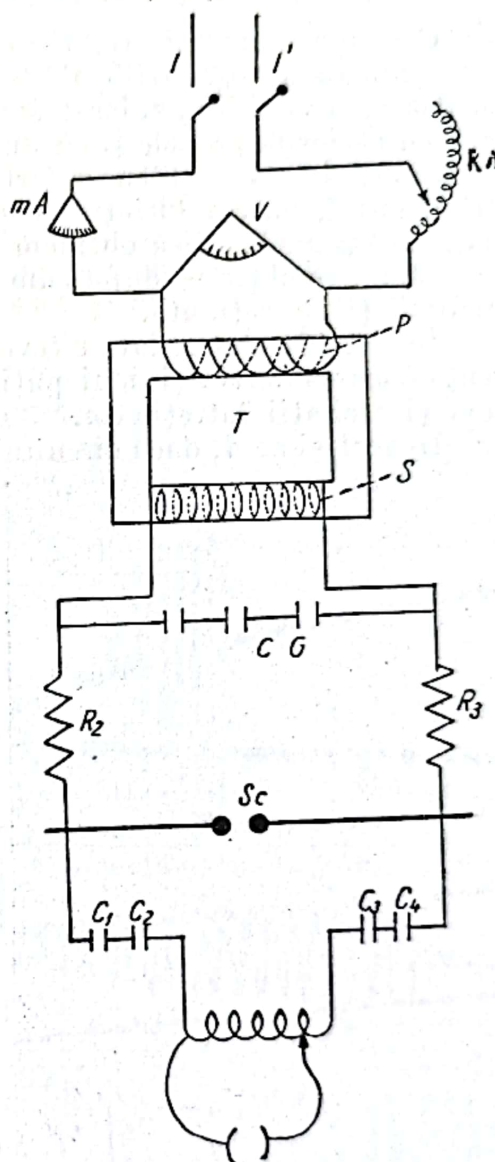


Fig. 460 — Montaj de înaltă frecvență cu alimentare în curent alternativ.

de unde, modificarea eclatorilor aduce și avantajul, foarte apreciat în aplicațiile medicale, că se micșorează amortizarea fiecărei oscilații; fiecare șir de unde avînd un număr mai mare de oscilații și deci o durată mai mare, se micșorează și pe această cale intervalul dintre două șiruri de unde succesive.

C. GENERATORI CU OSCILAȚII ÎNTREȚINUTE

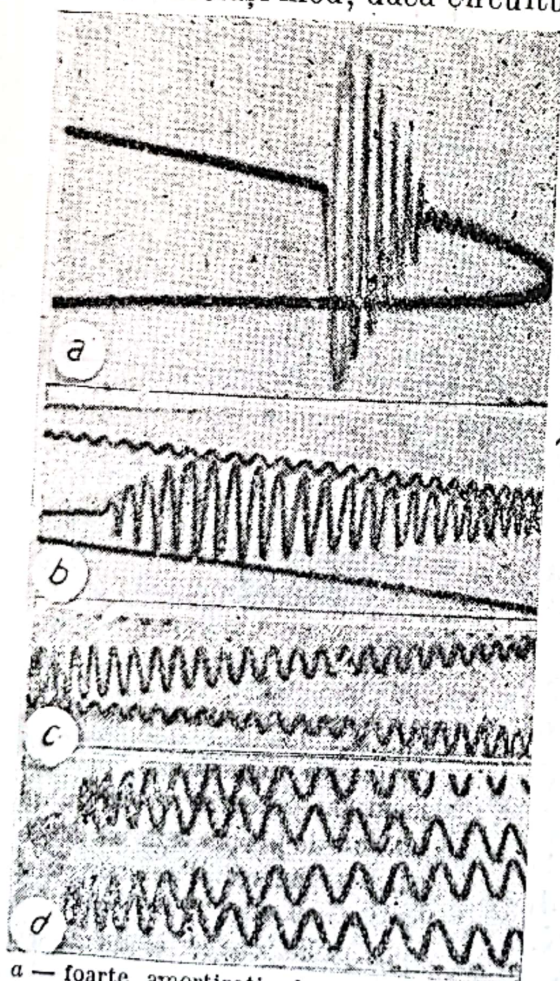
1. OSCILAȚII ELECTRICE ÎNTREȚINUTE

Oscilațiile amortizate, fie cu amortizare rapidă, fie mai înceată, se pot compara cu oscilațiile mecanice ale pendulului, care, fiind scos din poziția sa de echilibru și lăsat sub acțiunea gravitației, face o serie de oscilații cu perioadă proprie și cu amplitudine descrescătoare, pînă se oprește. Dacă însă intervenim cu o forță exterioară, care oscilează în rezonanță cu pendulul, putem întreține cîntinuu oscilațiile pendulului, cu o amplitudine constantă, adică obținem oscilații întreținute.

La fel se obțin — după cum vom vedea — curenții de înaltă frecvență cu oscilații întreținute.

În fig. 461 sînt redată cîteva oscilogramme ale curenților de înaltă frecvență foarte amortizați, mai puțin amortizați, șiruri de unde mai frecvente cum și oscilații întreținute.

În același mod, dacă circuitul oscilant format din capacitate, rezistență și inductanță este întrerupt iar la capetele libere *a* și *b* (fig. 462) se conectează o sursă exterioară de forță electromotoare *E*, care variază periodic, se pot obține în circuit oscilații întreținute.



a — foarte amortizați; *b* — mai puțin amortizați; *c* — șiruri de unde mai dese; *d* — oscilații întreținute.

Fig. 461 — Oscilogramme de curenți de înaltă frecvență.

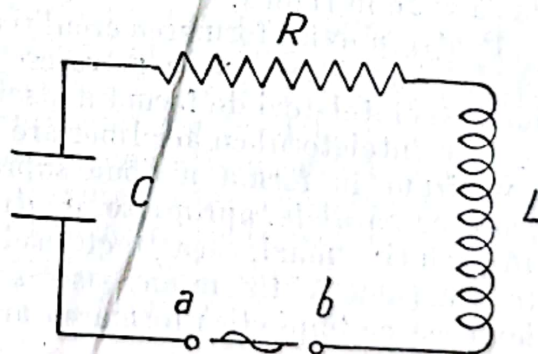


Fig. 462 — Obținerea unor oscilații întreținute într-un circuit oscilant.

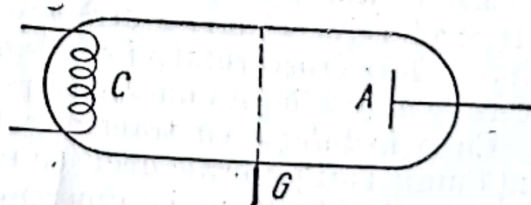


Fig. 463 — Schema lămpii triode.

2. TRIODA

Pentru producerea unei forțe electromotoare alternative care să mențină neamortizate oscilațiile, se întrebuințează tubul electronic cu trei electrozi sau lampa triodă, mai scurt trioda.

Trioda este cu totul asemănătoare, în ce privește anodul și catodul, cu lampa diodă despre care am vorbit la redresori; al treilea electrod constă dintr-o grilă (grătar) care se introduce în tub între filamentul catodic și placa anodică (fig. 463). Dacă între catod și anod există o anumită diferență de potențial și aplicăm grilei un potențial astfel ales încât să rețină pe grilă o parte din electronii emiși de catod, electronii vor ajunge în număr mai mic la anod, și astfel curentul din circuitul anodic va slăbi. Dacă dăm grilei un potențial care accelerează electronii, curentul anodic va crește. Valoarea curentului din circuitul anodic depinde astfel de potențialul grilei. Așezind convenabil grila în tubul cu trei electrozi, se poate obține o creștere foarte mare a intensității curentului din circuitul de placă printr-o variație mică a tensiunii de grilă; de aceea trioda servește bine ca amplificatoare. Un montaj special o poate face să folosească și ca generator de oscilații întreținute.

3. GENERATORUL CU TRIODĂ

Vom descrie una din schemele mai simple, în care trioda este generator de oscilații întreținute (fig. 464). Un circuit oscilant, compus dintr-un condensator C și o bobină de autoinducție L , este intercalat între grilă și placa unei triode. Un atare circuit poate genera oscilații de frecvență

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

dar aceste oscilații vor fi, după cum am arătat, amortizate.

Pentru a face ca aceste oscilații să fie întreținute, putem alcătui schema astfel încât chiar trioda să dea la fiecare oscilație un impuls compensator al amortizării și să păstreze oscilațiilor aceeași amplitudine.

În acest scop se montează, în circuitul grilei, bobina B , în care vor lua naștere curenți induși de către oscilațiile care parcurg bobina de autoinducție L . Dacă cele două bobine B și L sînt înfășurate în sens contrar, curentul de placă, în perioada cînd tensiunea de placă va fi în descreștere, va crește prin creșterea potențialului de grilă și astfel se va compensa amortizarea oscilațiilor.

Grila capătă aici rolul pe care-l are ancora ceasornicului care redă pendulei la fiecare oscilație o putere egală cu cea risipită prin frecare.

În ce privește energia necesară generatorului de curent de înaltă frecvență cu oscilații întreținute, ea este luată, fie de la bateria galvanică sau de la acumulatorul care alimentează circuitul anodic, fie de la rețea după transformările necesare.

Generatorii de oscilații întreținute cu tuburi electronice pot da oscilații cuprinse între cîțiva herți, așa cum am arătat la producerea electrosonnului, și cîteva sute de milioane de herți.

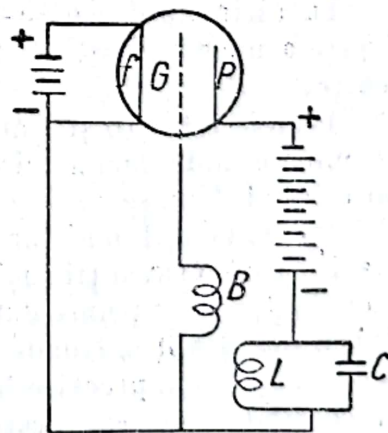


Fig. 464—Schema de generator electronic (cu triodă) de curenți de înaltă frecvență.

4. GENERATORUL MEDICAL DE UNDE SCURTE

În ultimele decenii au fost introduse în electroterapia medicală aparate care produc oscilații de frecvență foarte înaltă (ultrafrecvență). În electrologia medicală se folosește, pentru curenții de înaltă frecvență, denumirea de unde scurte și uneori unde ultracurte.

Undele scurte pot fi emise cu o putere suficientă nevoilor de tratament, cu ajutorul unor dispozitive a căror construcție variază. Vom descrie un montaj mai întrebunțat, și anume oscilatorul simetric cu două lămpi (fig. 465).

Un astfel de montaj are o bobină de autoinducție formată numai din câteva spire. Capacitatea este de asemenea foarte mică, și poate fi reprezentată chiar prin capacitatea electrostatică formată de grilă și de plăci. Circuitul oscilant este indicat prin linii groase pe figură. Cele două lămpi funcționează alternativ; adică, în timp ce una din ele se află la un potențial în creștere, cealaltă are potențialul în descreștere. Cu un astfel de montaj se obțin curenți de înaltă frecvență, ale căror unde au lungimea între 5 și 20 m, frecvența curentului fiind deci între 15 milioane și 60 milioane herți (15—60 MHz). Variația frecvenței, respectiv a lungimii de undă, se obține cu ajutorul unui condensator variabil, analog celui de la aparatele de radiorecepție.

Aparatele de unde scurte au o putere de 100 — 200 W, iar unele mai puternice, folosite în marile clinici, ating puterea de 500 W și chiar 1 kW.

Gama de unde rezervate telecomunicațiilor (unde radiofonice) suprapunându-se peste gama de unde folosită în aparatele de înaltă frecvență electromedicale, ceea ce aduce perturbări mai ales la radiorecepție, s-au stabilit în conferințe internaționale anumite lungimi de undă pentru folosința medicală. În general se utilizează pentru aplicații terapeutice undele de 6—12 m.

5. OSCILAȚII DE FRECVENȚĂ FOARTE ÎNALTĂ

În ultimele decenii s-au dezvoltat în telecomunicații metode de producere a unor oscilații de frecvență foarte înaltă, ale căror unde sînt foarte scurte.

Undele între 10 și 1 m se numesc unde metrice; cele între 1 m și 1 dm se numesc unde decimetrice, cele dintre 1 dm și 1 cm — unde centimetrice, iar cele sub 1 cm se numesc unde milimetrice.

În domeniul undelor metrice, decimetrice și centimetrice, au avut mari realizări savanții ruși și sovietici. Astfel, fizicianul rus P. N. Lebedev a obținut pentru prima dată undele metrice, iar în 1922, A. A. Glagoleva-Arkadieva a obținut unde de ordinul unei fracțiuni de milimetru. În prezent au aplicații practice în frecvențe foarte înalte numai undele decimetrice și centimetrice, și acestea sînt utilizate în telecomunicații prin impulsuri, în televiziune etc. Acțiunea acestor unde asupra organismului fiind o problemă încă deschisă, nu poate încă fi încă vorba de generatori medicali în această gamă de frecvențe.

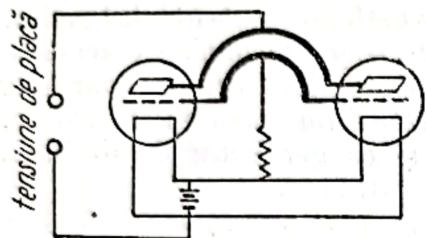


Fig. 465 — Oscilator simetric cu două triode.

D. PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

1. ÎNSUȘIRI CARACTERISTICE

Curenții de înaltă frecvență au unele însușiri caracteristice.

a) Prin însăși definirea lor, ei au frecvența foarte mare față de ceilalți curenți electrici alternativi. Această frecvență se exprimă în kiloherți ($1 \text{ KHz} = 1.000 \text{ Hz}$), în megaherți ($1 \text{ MHz} = 1.000.000 \text{ Hz}$) și gigaherți ($1 \text{ GHz} = 1.000.000.000 \text{ Hz}$). Unde prin care se propagă acești curenți am arătat că au mărimi începând de la kilometri până la milimetri.

b) Produc fenomene importante de capacitate. În timp ce la joasă frecvență curentul este cu atât mai puternic cu cât capacitatea condensatorului și frecvența forței electromotoare sînt mai mari, la curenții de înaltă frecvență este suficientă o capacitate slabă într-un circuit pentru ca acesta să fie străbătut de un curent intens. Această proprietate se enunță uneori astfel: curenții de înaltă frecvență pot exista într-un circuit deschis.

c) Curenții de înaltă frecvență produc foarte puternice fenomene de inducție. În adevăr, forța electromotoare de inducție este cu atât mai ridicată cu cât variația cîmpului inductor este mai rapidă, potrivit primei legi a curenților de inducție (Faraday); fenomenele de inducție ating deci o importanță considerabilă la curenții de înaltă frecvență.

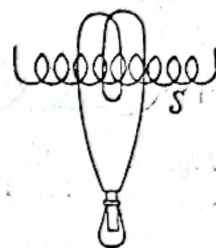


Fig. 466 — Inducția în înaltă frecvență.

Înconjurînd solenoidul de utilizare al unui generator de înaltă frecvență cu cîteva spire de sîrmă la capătul căroră se află o lampă electrică cu incandescență, curentul de inducție care străbate aceste spire este suficient pentru a aduce filamentul la incandescență (fig. 466).

Experiența mai arată că, într-un cîmp electromagnetic de înaltă frecvență, pe lângă fenomenul de inducție se produce și o transformare în căldură a energiei electromagnetice disponibile; aceasta se poate verifica ușor cu un termometru așezat în interiorul solenoidului dintr-un circuit oscilant (fig. 467).

Corpurile metalice sînt puternic încălzite într-un cîmp de înaltă frecvență. Încălzirea fiind proporțională cu rezistența, după legea lui Joule-Lenz, rezultă că rezistența electrică a metalelor semărește foarte mult într-un cîmp de înaltă frecvență. În adevăr, pentru o frecvență de 100 Hz , rezistența este cu 5% mai mare decît pentru frecvența zero (curent continuu), iar pentru o frecvență de 1 MHz (un milion de herți) este de 25 de milioane de ori mai mare decît în curent continuu.

d) Faptul că rezistența unui conductor metalic este mai ridicată în frecvență înaltă decît în frecvență joasă sau în curent continuu se datorește fenomenelor de inducție elementară care apar în circuit și care sînt cu atât mai intense cu cât considerăm o regiune mai profundă a conductorului, fiindcă în atare condiții fiecare curent elementar va fi supus mai mult inducției curenților vecini. La suprafața conductorului, fenomenele de inducție, și deci și cele de autoinducție

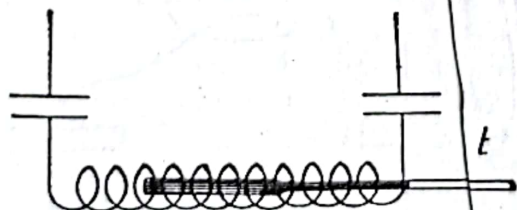


Fig. 467 — Încălzirea termometrului în cîmpul de inducție de înaltă frecvență.

și de rezistență, sînt mai puțin intense. Curentul de înaltă frecvență se propagă astfel mai mult prin partea periferică, și aceasta cu atît mai mult cu cît frecvența lui este mai mare. Circulația curentului de înaltă frecvență prin conductori metalici se face astfel mai mult la suprafață. Acest fenomen a primit numele de *efect pelicular*.

2. CURENȚII DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ ȘI ÎNALTĂ TENSIUNE

a) **Ridicarea tensiunii.** Bobina bipolară a lui Tesla este o bobină de inducție de înaltă frecvență, în care înfășurarea primară este formată din cîteva spire de sîrmă groasă, iar înfășurarea secundară este formată dintr-un conductor mai lung, înfășurat pe un cilindru de ebonită și aflat în interiorul inductorului (fig. 468). Acest dispozitiv permite ridicarea tensiunii curenților de înaltă frecvență. Secundarul se poate deplasa de-a lungul axului circuitului primar. Cînd secundarul se află la mijlocul solenoidului inductor, se produc la

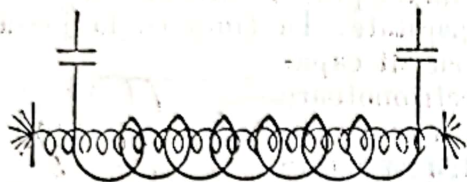


Fig. 468 — Bobina bipolară a lui Tesla.

ambele sale extremități efluvii de egală intensitate și de caracter asemănător celor produse de mașina statică. Deplasînd secundarul acestei bobine înspre una din extremități, se micșorează efluviile în partea opusă, din cauza micșorării inducției prin îndepărtarea de cîmpul înfășurării primare.

b) **Fenomenul de rezonanță.** Ridicarea tensiunii curenților de înaltă frecvență se realizează și prin fenomenul de rezonanță. Principiul este următorul: într-un conductor izolat la extremitățile sale, supus unei perturbări electrice, apar unde staționare de o anumită perioadă. Dacă acest conductor se leagă la una din extremități cu un circuit oscilant, care generează curenți cu o perioadă egală cu cea din conductorul amintit, acest conductor va intra în oscilație electrică, prin rezonanță, și va prezenta la extremitatea sa liberă tensiuni alternative foarte ridicate. Fenomenul de rezonanță electrică în înaltă frecvență se poate asemăna cu rezonanța acustică a unui tub sonor care întărește vibrațiile acustice cu o perioadă ce poate provoca în tub stabilirea unor unde staționare. Prin analogie acustică, fenomenul a fost numit în electricitate rezonanță și dispozitivul se numește rezonator.

Un dispozitiv utilizat adesea pentru a produce curenți de înaltă frecvență cu tensiune înaltă este rezonatorul Oudin (fig. 469). Acest rezonator se compune dintr-un solenoid vertical cu numeroase spire: primele spire din intervalul *BA* constituie solenoidul obișnuit de utilizare a circuitului oscilant și sînt legate de armăturile externe ale condensatorilor generatorului de înaltă frecvență; spirele superioare, cu care se continuă solenoidul, formează un circuit deschis terminat în *D*. Cînd are loc descărcarea oscilantă în spirele inferioare, în partea superioară *AD* au loc fenomene de inducție și de rezonanță, care produc în acest circuit deschis un curent alternativ

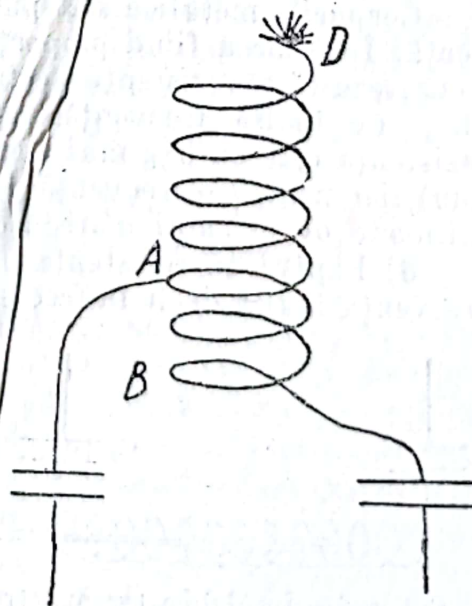


Fig. 469 — Rezonatorul Oudin.

de aceeași frecvență ca aceea a curentului inductor, dar de o tensiune foarte ridicată. Deplasind cursorul din A de-a lungul conductorului, se poate găsi locul de separare a celor două bobine AB și AD , pentru care efectul este maxim, și astfel apar în D egrete foarte puternice.

c) **Acțiunea de autoinducție** care se exercită între spirele vecine ale aceleiași înfășurări este cu atât mai mare cu cât se consideră un curent de o frecvență mai ridicată. Astfel, deși rezistența ohmică dintre două spire ale solenoidului de utilizare dintr-un aparat de înaltă frecvență este foarte slabă, rezistența la curentul de înaltă frecvență este suficientă pentru ca să producă o diferență de potențial foarte ridicată între aceste spire. Se dovedește aceasta, punind în contact un excitator cu cele două spire considerate: apar scinteii lungi între polii excitatorului când aparatul funcționează.

3. ALTE PARTICULARITĂȚI ALE CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

a) Curenții de înaltă frecvență străbat soluțiile electrolitice producind un efect de încălzire; în această privință, vom vedea la descrierea efectelor fiziologice și aplicațiilor medicale cum țesuturile organismului sînt asimilabile acestor soluții de electrolite. În general, țesuturile vegetale și animale nu sînt conductori perfecți, ci sînt considerate ca semiconductori, iar în unele împrejurări, cum este cazul lemnului uscat, chiar ca dielectrice.

Numeroase cercetări și studii privind caracteristicile electrice ale lemnului uscat în cîmpurile de înaltă frecvență, făcute în Laboratorul central de cercetări științifice pentru electrificarea industriei și a construcțiilor din U.R.S.S., au stabilit că rezistența lemnului scade cu creșterea frecvenței cîmpului. Această variație este rapidă cînd lemnul este umed. Astfel, dacă frecvența crește de 2,5 ori, conductibilitatea lemnului de conifere crește cu 50 — 60%, iar a mesteacănului cu 40 — 55%.

b) În sfîrșit, oscilațiile de înaltă frecvență se transmit prin unde în mediul înconjurător, fenomen de o importanță considerabilă pentru radio-comunicații, televiziune, radiolocație.

4. APLICAȚIILE GENERALE ALE CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Aceste aplicații generale se bazează pe proprietățile caracteristice ale curenților de înaltă frecvență, pe care le-am descris mai înainte.

a) **Radiocomunicațiile** sînt azi cele mai răspîndite, mai întrebuintate și mai populare aplicații ale înaltei frecvențe. În adevăr, circuitul oscilant poate fi un circuit închis, așa cum am arătat, dar poate fi și un circuit deschis, cum este de exemplu cazul prezentat de o antenă. În acest caz, cîmpul electric al condensatorului, cît și cel magnetic al bobinei de auto-inducție nu rămîn închise între condensator și bobină, ci se răspîndesc în spațiu, sub formă de unde electromagnetice. Pe acest principiu au fost construite aparatele de emisiune și recepție de telegrafie fără fir, de radio-comunicații, începînd de la primul aparat inventat de A. S. Popov, în 1895, și pînă la aparatele moderne de radio, televiziune, telecomandă, telecontrol, telemecanică, radiolocație (radar) etc. de astăzi.

Teoria și tehnica telecomunicațiilor s-au dezvoltat vertiginos și amplu, individualizîndu-se într-o ramură distinctă a înaltei frecvențe: „Radiotehnica“.

b) **Electrometalurgia** este ramura metalurgiei care folosește inducția în înalta frecvență pentru căliri superficiale, suduri, topiri etc. Electronica, dînd în ultimul timp posibilitatea de a se construi generatori de înaltă frecvență de mare putere, cu randament ridicat, a deschis perspective de

aplicare a curenților de înaltă frecvență ca element energetic în diferitele procese de electrometalurgie. Una din aceste aplicații, care a luat o mare extindere este cuptorul metalurgic de inducție iar alta este călirea superficială a pieselor de oțel; încălzirea selectivă a suprafeței se face, în acest caz, cu ajutorul curenților de înaltă frecvență, prin efect pelicular.

c) **Încălzirea dielectrică industrială în înaltă frecvență** este utilizată la uscarea unor materiale umede: droguri, fructe, placaje de lemn. Se mai poate încălzi solul pentru lucrări în epoci de îngheț.

E. APLICAREA MEDICALĂ A CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

1. ACȚIUNEA FIZIOLOGICĂ A CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Am arătat însușirile caracteristice ale curenților de înaltă frecvență, însușiri care îi deosebesc foarte mult de ceilalți curenți electrici. Întrebuințarea lor largă în terapia electrică se datorește acestor proprietăți ale lor, care apropie curenții de înaltă frecvență de cei generați de organism și-i aduc ușor în rezonanță cu acesta.

Curenții de înaltă frecvență se pot aplica folosind intensități considerabile față de curentul alternativ de joasă frecvență și față de curentul continuu. Astfel, în timp ce galvanizarea în intensități mai mari devine primejdioasă și chiar mortală, iar faradizarea se aplică la un curent de cel mult 2—3 mA, aplicarea curenților de înaltă frecvență se poate face și la o intensitate care trece de 1 000 mA și ajunge, în anumite condiții, chiar la 3 000 mA fără a produce efecte senzitive și motorii.

Nervii motori și senzitivi nu sînt excitabili pentru oscilațiile electrice decît între frecvențele 1 — 3 000 Hz, tot așa cum nervul optic sau cel acustic nu răspund decît la excitații a căror frecvență este cuprinsă între anumite limite, cum s-a arătat în capitolele respective.

Mărinđ frecvența, se constată că acțiunea excitomotorie, care crește pînă spre 3 000 Hz, se micșorează pe măsură ce crește frecvența; la citeva sute de kHz, acțiunea curentului asupra nervilor motori și senzitivi devine nulă și corpul poate fi străbătut de curenți de ordinul amperilor, fără a fi primejdioși și fără ca să se observe decît o acțiune termică. Acest fenomen, cu mari consecințe în domeniul medical și al protecției muncii, a fost demonstrat experimental de Kadikov prin cercetări făcute la Institutul de boli profesionale din Leningrad și de I. P. Petrov, care a experimentat pe animale.

După Walter Nernst (1889), excitațiile neuro-musculare prin curenții de înaltă frecvență sînt condiționate de anumite procese fizice, și anume de acumularea de ioni pe suprafața membranelor celulare din organism, adică de polarizarea acestor membrane. Această variație de concentrație necesită un anumit interval de timp. Dacă inversarea curentului se face foarte repede, cum este cazul la curenții de înaltă frecvență, ionii nu mai au timpul să se acumuleze în număr suficient pentru a da naștere excitației. Faptul că schimbarea foarte rapidă a polarității stă la originea proprietăților amintite ale curenților de înaltă frecvență se vedește și atunci cînd, cu ajutorul tuburilor electronice, redresăm oscilațiile de înaltă frecvență; se constată că, o dată cu polaritatea constantă, curenții de înaltă frecvență capătă proprietatea de a excita nervii și mușchii.

Rolul ionilor în fenomenul excitației electrice și al excitației în general apare sub forma unei teorii amănunțite la biofiziologul P. P. Lazarev. Încă

la finele secolului trecut, savantul rus V. S. Ciagoveț a arătat că excitarea sistemului nervos se datorește ionilor. În apariția proceselor de excitare au o deosebită importanță sărurile dizolvate în țesuturi și care intră în alcătuirea protoplasmei, săruri care în organism sînt disociate și există deci sub formă de ioni.

Această idee a fost dezvoltată de Lazarev, care a arătat că ionii monovalenți de Na și K excită sistemul neuro-muscular. Spre deosebire de aceștia, ionii metalici bivalenți Mg și Ca au o acțiune sedativă. Variația raportului concentrației ionilor monovalenți către cei bivalenți

$$\frac{[\text{Na}^+] \cdot [\text{K}^+]}{[\text{Mg}^{++}] \cdot [\text{Ca}^{++}]}$$

determină deci, fie acțiunea excitatoare, fie cea sedativă asupra elementelor neuro-musculare.

În teoria ionică a excitației, Lazarev explică în modul următor apariția sarcinii electrice prin excitarea fibrei nervoase cu ajutorul curentului electric: ionii se așază după liniile de forță ale curentului electric și întîlnesc în calea lor membrane semipermeabile; acestea lasă să treacă numai o parte din ioni, reținînd altă parte, deci modifică concentrația lor. Din cauza concentrației diferite a ionilor, apare în țesut o diferență de potențial. Sub acțiunea sarcinilor electrice, proteinele se coagulează, trecînd în stare neionică; astfel se strică echilibrul fizico-chimic din țesuturi, ceea ce face ca terminațiile nervoase să fie excitate.

Excitația apare deci ori de cîte ori între concentrațiile ionilor antagoniști, mono- și bivalenți, se stabilește un raport care duce la apariția diferenței de potențial amintite. Dacă se notează cu C_1 concentrația ionilor excitanți și cu C_2 concentrația ionilor sedativi, valoarea limită a raportului $\frac{C_1}{C_2}$, care provoacă excitația minimă, poate fi determinată pentru fiecare excitant în parte.

Acțiunea curenților de înaltă frecvență se traduce prin producere de căldură în organism. Oscilațiile de frecvență înaltă încălzesc țesuturile prin care străbat. Transformarea electricității în căldură se face la curenții de înaltă frecvență ca la celelalte forme de curenți, după legea Joule-Lenz, care stabilește legătura dintre energia electrică și cea calorică

$$Q = 0,24 I^2 R t.$$

În timp ce la curenții de frecvență joasă această căldură, care crește cu pătratul intensității curentului, nu poate fi obținută din cauză că o intensitate mare duce la electrocutare, la frecvența înaltă, unde am văzut că putem aplica sute și chiar mii de miliamperi fără primejdie, se poate ajunge la încălzirea dorită a organismului și la aplicarea ei în terapeutică, așa cum se va vedea mai departe.

În afară de aceste proprietăți principale, curenții de înaltă frecvență au și o acțiune bacterică și produc scăderea pragului de excitabilitate a țesuturilor sub electrozi, pînă la analgezie.

Conductibilitatea organismului la trecerea curenților de înaltă frecvență este deosebită decît la ceilalți curenți. În conductorii metalici, curenții de înaltă frecvență sînt localizați, așa cum am arătat, într-o peliculă subțire, la suprafața conductorului, prezentînd fenomenul cunoscut sub numele de efect pelicular. În organisme vii, experiența a arătat că oscilațiile de înaltă frecvență pătrund cu ușurință. Conductibilitatea fiin-

țelor vii nu este deci comparabilă cu cea a metalelor, ci mai curînd cu cea a soluțiilor electrolitice.

Din cauza succedării foarte rapide a alternanțelor curenților de înaltă frecvență, acțiunile fizico-chimice care produc forțele electromotoare de polarizare nu au timp să atingă o valoare apreciabilă înainte de a fi anulate de trecerea oscilației de sens contrar. Rezistența organismului la curenții de înaltă frecvență capătă astfel o valoare foarte apropiată de rezistența inițială, de rezistența ohmică. Măsurătorile au arătat că organismele au o rezistență mai mică decît în curentul continuu. Astfel, la un subiect care ține în mîini electrozi cilindrici, rezistența variază între 450 și 650 de ohmi. Dacă curentul trece prin torace, cu ajutorul unor electrozi așezați pe fiecare deltoid, rezistența cade la o valoare foarte slabă, de circa 45 ohmi. Rezistența aparentă se micșorează cu creșterea frecvenței curentului.

Problema acțiunii fiziologice a curenților de înaltă frecvență a preocupat pe numeroși cercetători. În ultimele decenii sînt folosiți în industrie și în telecomunicații, în detecția zăcămintelor de minereuri, în medicină etc. generatori de înaltă frecvență. Din datele care reflectă acțiunea acestor curenți asupra oamenilor care lucrează la instalațiile de înaltă frecvență, reiese că acești muncitori, tehnicieni, ingineri, medici, suferă de tulburări (dureri de cap, oboseală etc.) în timpul funcționării prelungite a aparatelor; ele dispar însă, fără consecințe, puțin timp după încetarea lucrului.

Cercetările făcute de Laboratorul pentru protecția muncii din Ministerul Comunicațiilor al U.R.S.S. asupra stării sănătății oamenilor care deservesc de ani de zile instalațiile de înaltă frecvență arată că instalația cu generatori de înaltă frecvență, la care tensiunea cîmpului este numai de cîteva zeci de volți pe metru, n-a provocat personalului nici un fel de modificări nervoase sau circulatorii. Cînd se ajunge la cîteva sute de volți pe metru, se constată ridicarea temperaturii corpului, tulburări ale sistemului neurovegetativ, modificarea glicemiei. Pentru determinarea tensiunii primejdioase a cîmpului de înaltă frecvență pentru organismul uman, studiile sînt încă în curs.

Alte cercetări făcute în institutele sovietice au stabilit că un cîmp de înaltă frecvență dăunează sănătății numai în raport direct cu cantitatea de energie absorbită, deci cu tensiunea, intensitatea și timpul cît corpul s-a aflat în cîmpul electric.

Experiențele au mai arătat că pentru fiecare organism există o anumită frecvență la care corpul reacționează deosebit de dureros. Astfel, șoarecii albi mor repede într-un cîmp de înaltă frecvență cu lungimea de undă de 6,2 m.

2. APLICAȚIILE CURENȚILOR DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ ÎN MEDICINĂ

În medicină se aplică, atît curenții de înaltă frecvență cu tensiune joasă și intensitate mare, cît și cei cu intensitatea mică, dar cu tensiune ridicată. Din prima categorie avem aplicații medicale: diatermia, electrocoagularea, bisturiul electric, febra artificială, iar din categoria a doua: efluvii, scînteii, fulgurații și în general aplicații asemănătoare cu cele de electricitate statică.

Aplicațiile înaltei frecvențe în medicină sînt cunoscute și sub denumirea de d'Arsonvalizare.

a) Diatermia. Diatermia sau termopenetrația se numește procesul medical de încălzire a țesuturilor corpului uman prin trecerea curentului electric de înaltă frecvență. În dezvoltarea acestei metode au fost folosiți la început curenții foarte amortizați și apoi cei cu amortizare mai înceată,

produși de generatorii de înaltă frecvență descriși în paragrafele anterioare. În ultimele decenii, de la introducerea tuburilor electronice, se folosesc unde întreținute, fie de mărime mijlocie (100 metri), fie mai mică (12—6 m).

Aparatele mai vechi, din care foarte multe sînt încă în funcțiune, fac parte din categoria celor cu scînteietor (eclator) și au la bază o variantă perfecționată a montajului d'Arsonval (scînteietorul în derivație). În modul acesta se evită accidentele care se pot produce cînd, capetele scînteietorului venind în contact, curentul bobinei de alimentare (bobina de inducție) trece în circuitul oscilant aplicat bolnavului. Lungimea de undă pe care o furnizează aceste aparate este de obicei de 500 m.

Aparatele electromedicale care dau unde puțin amortizate, cu $\lambda = 100$ m, produc efecte termice mai bune decît cele cu unde amortizate.

În instalațiile moderne, cu tuburi electronice, undele mijlocii cu $\lambda = 100$ m dau efecte analoge celor cu scînteietor. Numai undele scurte au efecte ceva mai deosebite, așa cum se va descrie mai departe. În prezent, instalațiile cu oscilații întreținute, fie cu unde mijlocii, fie cu unde scurte, permit efectuarea tuturor tratamentelor de diatermie, de electrocoagulare, electro-pirexie etc.

În aplicațiile medicale este folosită denumirea de diatermie pentru undele lungi și medii, iar numele de unde scurte (uneori ultracurte) pentru cele de 6—18 m.

Înainte de a trece la descrierea fiecărui fel de aplicație medicală a încălzirii țesuturilor pe cale electrică, trebuie să facem o analiză generală a fenomenului de încălzire a organismului cu ajutorul curenților de înaltă frecvență.

Transformarea energiei electrice în energie calorică se face, după cum s-a mai arătat, conform legii Joule-Lenz, cantitatea de căldură Q obținută prin trecerea unui curent fiind dată de expresia:

$$Q = 0,24 I^2 R t. \text{ calorii mici,}$$

unde I este intensitatea curentului în amperi, R este rezistența în ohmi și t = timpul în secunde.

În ce privește rezistența, R nu reprezintă în această expresie rezistența totală, așa cum am văzut că se măsoară în curentul continuu, ci rezistența inițială măsurată, fie cu ajutorul curenților de foarte scurtă durată, fie prin curenți alternativi de frecvență suficientă. Rezistența pielii nu are, în înaltă frecvență, decît o importanță secundară.

Intensitatea curentului de înaltă frecvență care poate străbate corpul omenesc fără să producă leziuni, atingînd — așa cum am arătat — valori considerabile, face ca, deși rezistențele sînt mici, cantitatea de căldură dezvoltată în țesuturi să fie suficientă pentru a produce efecte termice intense. În diatermie, această încălzire a țesuturilor este folosită în tratamente și în alte aplicații.

Efectele termice depind de o serie de factori, pe care-i vom descrie succint.

Densitatea curentului. Efectele termice variază cu densitatea curentului. Astfel, dacă electrozii nu au aceleași dimensiuni, cantitatea mai mare de căldură se degajează în regiunea electrodului de suprafață mai mică, deci unde densitatea curentului este mai mare (fig. 470).

De asemenea, dacă regiunea traversată prezintă o secțiune mai îngustă, la acest nivel vom avea o temperatură mai ridicată. Astfel, aplicînd un electrod la articulația pumnului și unul pe torace, se simte căldura la mînă.

Rolul rezistenței țesuturilor. În cazul schematic al conductorilor de rezistență diferită legați în serie, degajarea de căldură în fiecare din ei este proporțională cu rezistența lui. Se poate astfel scrie:

$$Q_1 = 0,24 I^2 R_1 t$$

$$Q_2 = 0,24 I^2 R_2 t$$

$$Q_3 = 0,24 I^2 R_3 t.$$

La fel, în cursul unei aplicații de diatermie, căldura degajată la electrozi poate fi mai mică decât cea produsă în țesuturile subiacente. La aplicațiile termice exogene (apă caldă, cataplasme), conductibilitatea termică slabă a țesuturilor face ca încălzirea să nu pătrundă decât foarte puțin în adâncime, pe cînd la diatermie se produce căldură endogenă, care încălzește țesuturile profunde, în raport direct cu rezistența electrică a fiecăruia.

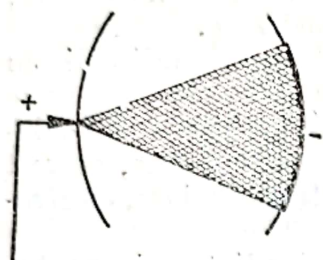


Fig. 470 — Diatermie cu electrozi cu suprafețe neegale.

Se utilizează electrozi metalici care, avînd rezistența foarte mică, se încălzesc foarte puțin la trecerea curentului; soluțiile saline, care au și ele o rezistență mică, sînt de asemenea folosite la electrozi.

Organismul are însă o structură heterogenă, așa că nu poate fi asimilat pretutindeni cu un număr de conductori legați în serie. Mai curînd se poate considera curentul care străbate organismul ca fiind divizat într-un mare număr de curenți derivați. Intensitatea fiecăruia din aceste circuite fiind dată de legea lui Ohm, avem:

$$I_1 = \frac{E}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{E}{R_3} \text{ etc.};$$

cantitățile de căldură corespunzătoare vor avea valoarea:

$$Q_1 = \frac{E^2}{R_1} t$$

$$Q_2 = \frac{E^2}{R_2} t$$

$$Q_3 = \frac{E^2}{R_3} t \text{ etc.}$$

În aceste cazuri, cantitățile de căldură sînt invers proporționale cu rezistențele. Aceasta se poate verifica trecînd un curent de la mînă la umăr; partea anterioară a antebrațului, care conține vasele și alte țesuturi bune conducătoare de electricitate, se încălzește mai mult decât partea posterioară, constituită din oase, care opun rezistență mai mare la trecerea curentului.

Efectele capacității. Cantitatea de energie transformată în căldură depinde și de capacitatea electrică a organismului. Reprezentînd un element

de țesut printr-un condensator C șuntat cu o rezistență R , pe măsură ce crește frecvența, curentul va trece din ce în ce mai mult prin condensator, iar cantitatea de căldură degajată va fi din ce în ce mai mică. În cazul unui ansamblu de elemente de rezistență și capacitate diferită, traversat de un curent de frecvență crescută, s-a arătat experimental că elementele pentru care produsul dintre capacitate și rezistență este maxim încep a manifesta o conductibilitate însemnată prin capacitate.

Pentru corpul uman, aceste elemente sînt alcătuite de părțile superficiale ale pielii; pînă la o frecvență de mai multe milioane de Hz se poate admite că, în restul organismului, repartitia căldurii se face numai după valorile rezistenței, așa cum s-a arătat mai înainte. Dacă se lucrează însă cu unde scurte, efectul de capacitate intervine pentru noi regiuni ale organismului, iar pentru fiecare frecvență regiunile care satisfac anumite condiții de conductibilitate vor fi încălzite la maximum. În aceasta constă efectul terapeutic diferențial al diferitelor lungimi de undă, despre care se va mai vorbi mai departe.

Influența circulației. Căldura produsă în organism nu rămîne localizată în locul unde s-a produs, ci se răspîndește în întregul organism; această răspîndire se face prin conductibilitate și prin convecție. La această din urmă formă de răspîndire contribuie circulația sanguină. Țesuturile foarte irigate prezintă deci o încălzire locală mai mică decît cele care au o circulație mai puțin bogată. În adevăr, experiența arată că țesutul adipos subcutanat, sărac în vase sanguine, se încălzește repede, ceea ce face ca aplicațiile de înaltă frecvență să fie de multe ori suportate greu de bolnavii grași. Regiunile cu circulație foarte activă nu se încălzesc decît foarte puțin.

Temperatura maximă a țesuturilor traversate de curenți de înaltă frecvență a fost determinată de mai mulți cercetători, dar rezultatele nu au fost totdeauna concordante. Se poate măsura ridicarea de temperatură produsă de trecerea curenților de înaltă frecvență, fie cu ajutorul termometrelor, fie mai curînd cu aparate termoelectrice. După unii autori, de îndată ce temperatura corpului a depășit $40,5^{\circ}$ apare o senzație de arsură care determină pe medic să oprească aplicarea. S-a constatat însă că temperatura pielii unor bolnavi a putut ajunge sub electrozi la 42° fără să se fi produs vreo leziune cutanată.

Proprietățile diferențiale ale undelor de diferite lungimi sînt în legătură cu repartitia căldurii în organism sub acțiunea lor. Experiența a arătat că repartitia căldurii în diferitele țesuturi este foarte diferită, după cum se utilizează curenți de înaltă frecvență cu lungimea de undă mare, mijlocie, mică sau foarte mică. În graficul din fig. 471 este reprezentată încălzirea diferitelor țesuturi în cursul aplicațiilor de diatermie cu unde lungi și cu unde ultracurte ($\lambda = 3\text{ m}$).

În diatermia cu unde lungi, țesutul subcutanat se încălzește cel mai mult, apoi oasele, pielea și mușchii. La undele scurte, oasele și ficatul se încălzesc cel mai mult, apoi vin mușchii, care se încălzesc mai mult decît în

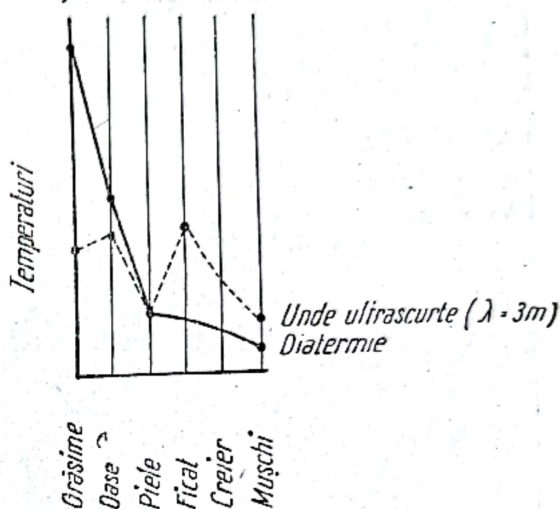


Fig. 471 — Încălzirea diferențială a țesuturilor prin diatermie și unde ultracurte.

diatermia cu unde mai lungi. Temperatura subcutanată se ridică mai puțin la tratamentul cu unde scurte. Numai pielea prezintă aceeași încălzire la ambele metode de aplicare a termopenetrației.

În general, se poate spune că diatermia obișnuită produce o încălzire mai superficială, iar undele scurte o încălzire mai profundă, ceea ce face ca ele să aibă indicații terapeutice oarecum specifice. Trebuie menționat însă că nu este vorba de o acțiune specifică a fiecărei frecvențe, ci de repartiția căldurii în diferitele organe, după legătura dintre diferitele frecvențe și elementele de rezistență și capacitate pe care le-am descris.

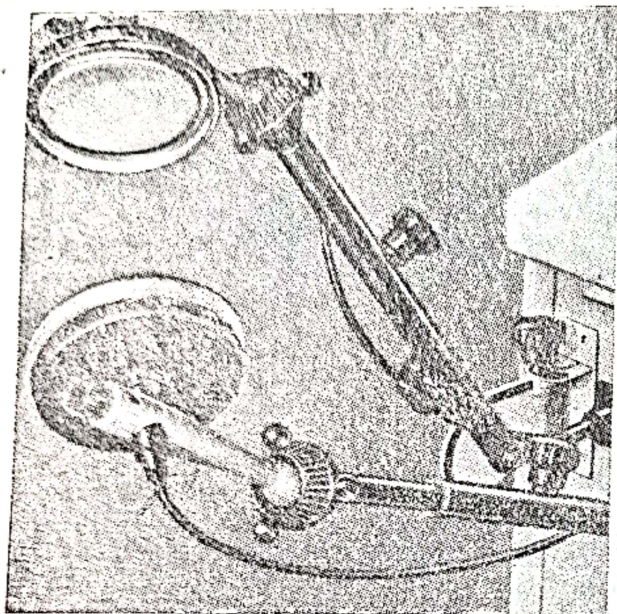


Fig. 472 — Electrozi pentru unde scurte.

Aplicarea undelor scurte în medicină prezintă și avantajul unei manipulări mai ușoare. În adevăr, la undele scurte nu mai e nevoie să aplicăm electrozii în contact perfect cu pielea, ci este suficient să cuprindem regiunea pe care vrem s-o încălzim, între două plăci conductoare, acoperite cu un izolan (electrozi speciali de unde ultracurte). Astfel se pot trata cu ușurință regiuni ca umărul, pentru care aplicarea eficace a electrozilor de diatermie este mai greoaie (fig. 472).

În general, la diatermia cu unde lungi, puterea aplicată organismului este de 300—500 wați, ceea ce corespunde la apariția unei kilocalorii la fiecare 10—15 secunde.

Aplicații generale și locale. În aplicații medicale generale, diatermia este indicată la indivizii slabi, atonici, care prezintă adesea hipotermie. La artritici și reumatici, diatermia are o acțiune analgezică și stimulează nutriția, făcând să dispară senzația de răcire, care este foarte frecventă la acești bolnavi.

În aplicațiile locale, diatermia aduce ușurări într-un mare număr de afecțiuni dureroase: nevralgii, artrite, algii abdominale (periviscerite, aderente etc.). Aceste aplicații au o acțiune rezolutivă în stările inflamatorii și congestive; prin efectul de vasodilatație, au acțiune în deficiențele circulatorii, ca și în tulburările periferice, care sînt o consecință a unei circulații periferice anormale (degerături, ulcere varicoase, obliterări arteriale, gangrene diabetice sau senile).

Diatermia dă rezultate foarte bune în tratamentul bolilor tubului digestiv, și anume în afecțiunile veziculei biliare.

În general, înalta frecvență este folosită, în aplicații directe, pentru a combate tulburările de nutriție, de circulație, ale sistemului simpatic, cum și fenomenele spasmodice.

O aplicație specială a diatermiei, sub formă de unde scurte, care dau mai multă căldură în țesuturile profunde decît undele lungi, este electropirexia sau febra artificială. Se întrebuintează undele scurte pentru a aduce corpul în întregime la o temperatură de 40° și chiar mai mare, prin aportul de căldură pe cale electrică; contra acesteia bolnavul luptă prin vasodilatație și sudație intensă. Pentru aplicarea metodei de electropirexie se folosește un

generator de 1 000—1 500 W. Bolnavul este așezat într-o cabină, pentru a se evita pierderile de căldură. Se dozează curentul de înaltă frecvență astfel ca să provoace încălzirea generală a organismului.

Metoda tinde să înlocuiască malarioterapia în tratamentul paraliziei generale, căci este mai puțin primejdioasă decât îmbolnăvirea artificială a subiectului pentru a obține febra, și are același efect. Aceasta face ca termenul de febră artificială, deși nu este propriu, fiindcă nu este legat de o dereglare a centrului termoreglator, să fie totuși utilizat pentru electropirexie.

S-au obținut rezultate bune și în unele boli de origine endocrină, folosind aplicații de diatermie, cu putere redusă. Observind, prin spectroscopie, viteza de reducere a hemoglobinei într-un deget unde circulația a fost întreruptă (testul Ferrier), s-a pus în evidență o acțiune manifestă a micilor doze de unde scurte asupra diferitelor glande: tiroidă, ovar, glanda mamară.

b) **Aplicațiile medicale ale cîmpului de inducție de înaltă frecvență.** Dacă la armăturile externe ale condensatorilor unei instalații de curenți de înaltă frecvență legăm, în locul solenoidului mic, un solenoid mare, vertical, și introducem în el bolnavul, facem o aplicație a cîmpului de înaltă frecvență cunoscută în terapia electrică sub numele mai vechi de autoconducție. Curentul de înaltă frecvență care străbate solenoidul mare induce în organism curenți asemănători curenților Foucault din masele metalice. Pacientul nu are nici o senzație deosebită. Efectele asupra organismului se observă îndeosebi asupra metabolismului. Autoconducția provoacă o mărire considerabilă a termogenezei: cantitatea de căldură emisă se poate dubla la un subiect aflat în cîmpul unui solenoid dintr-un circuit de înaltă frecvență (fig. 473). Temperatura centrală a subiectului nu se modifică sensibil; aceasta se datorește faptului că organismul radiază căldură pe măsură ce ea se produce. Schimbările respiratorii sînt augmentate, cantitatea de CO_2 eliminată fiind dublă în timpul unei aplicații de o oră, secreția urinară este profund modificată, volumul este crescut, la fel și ureea, acidul uric etc.

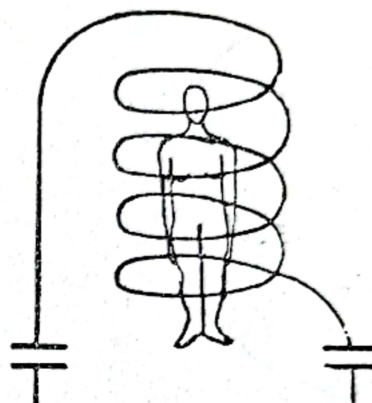


Fig. 473 — Ridicarea temperaturii în cîmpul de inducție de înaltă frecvență.



Fig. 474 — Tratament prin cîmpul de inducție de înaltă frecvență al unei bobine plate.

Rezultatele obținute permit să se admită că aplicațiile de autoconducție au o acțiune stimulantă asupra nutriției generale. Această aplicație a fost mai puțin folosită cîtva timp, dar în ultima vreme a fost reluată, de data aceasta cu unde mijlocii și scurte, cu bobine plate (fig. 474) și cu solenoizi mai mici, pentru tratamente locale (fig. 475).

Se admite că, în afară de efectul termic, curenții de înaltă frecvență au și o acțiune de rezonanță electrică asupra corpului omenesc.

Această acțiune directă, admisă de toți autorii, se verifică și prin faptul că, dacă se apropie un bec de neon de corpul bolnavului aflat în câmpul de înaltă frecvență, becul se luminează, iar lumina lui devine mai vie dacă, acordind condensatorul variabil, facem astfel ca oscilațiile generatorului de înaltă frecvență să intre în rezonanță cu corpul omenesc.

De interes istoric este aplicația cunoscută în dezvoltarea electricității medicale sub numele de *pat condensator*. Dacă se pune în comunicație cu solenoidul mic un circuit deschis cuprinzând un condensator, descărcările periodice ale acestuia produc

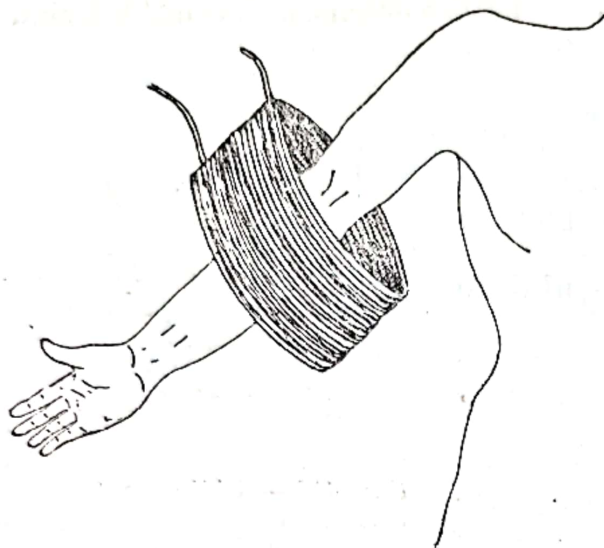


Fig. 475 — Solenoid pentru tratarea diferitelor regiuni prin câmp de înaltă frecvență.

un câmp electric. Această proprietate a curenților de înaltă frecvență este utilizată în modul următor: pe o saltea izolatoare de cauciuc, întinsă pe un pat de metal, se culcă bolnavul. Unul din polii circuitului deschis este legat de patul metalic (care constituie una din armăturile condensatorului), iar celălalt pol, terminat cu o vergea metalică groasă, este ținut în mână de bolnav (care constituie astfel cealaltă armătură a condensatorului). Salteaua constituie dielectricul condensatorului. Metoda nu se mai aplică azi în forma aceasta, însă așezarea bolnavului într-un câmp electric este practică în asociere cu menținerea lui într-un câmp

magnetic de înaltă frecvență (bobina plată + solenoid).

c) Aplicații chirurgicale ale curenților de înaltă frecvență sînt practicate sub diferite forme.

Diatermocoagularea este o aplicație medicală unipolară a curenților amortizați de înaltă frecvență. Unul din electrozi are o suprafață mare și constituie deci electrodul indiferent, iar electrodul cu suprafață foarte mică este cel activ, densitatea de curent fiind maximă în regiunea acestuia. Efectul termic fiind în raport cu densitatea curentului, încălzirea țesuturilor sub electrodul activ este mult mai mare, putînd ajunge la distrugerea țesuturilor moi.

Bisturiul electric. Undele medii și scurte, întreținute, permit a se obține secționări cu un electrod chirurgical numit bisturiu electric. Bisturiile electrice sînt piese metalice ascuțite, anse, cuțite, sfere, discuri, avînd rolul de electrod activ (fig. 476).

Acest fel de secționare nu provoacă mortificarea decît a unuia sau a două straturi de celule. Nu se produc deci escare și nici fenomenele de

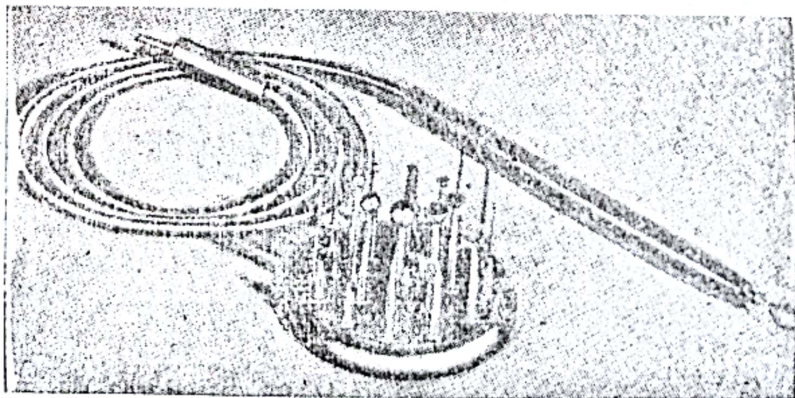


Fig. 476 — Bisturie electrice de diferite forme.

resorbție toxică, consecințe ale escarelor. Dimpotrivă, hemostaza nu se produce imediat, prin coagulare, decât pe vasele mici. Ulterior se poate produce o hemostază a vaselor de calibru mai mare, printr-un mecanism cu totul deosebit și bine studiat.

Undele amortizate nu permit o secționare atât de netă a țesuturilor, deoarece acțiunea lor este mai mult necrozantă și coagulantă, așa că se formează escare relativ voluminoase, care pot atrage hemoragi secundare.

În prezent, chirurgii folosesc electrocoagularea cu unde amortizate împreună cu bisturiul electric cu unde întreținute când vor să provoace coagulări masive, fie pentru a distruge celule maligne, fie pentru a obstrua vase mari.

Prin curenții de înaltă frecvență, chirurgia prezintă avantaje în intervențiile asupra tumorilor maligne, producând sterilizarea suprafețelor secționate, prin căldura produsă în imediata apropiere a electrodului activ, unde densitatea de curent este considerabilă. Pe de altă parte, coagularea vaselor sanguine și limfatice micșorează riscul de metastază prin împiedicarea migrației celulelor canceroase.

În fine, experiența a arătat că șocul operator este mult mai mic decât pentru operațiile obișnuite și că repararea țesuturilor se face cu o mare repeziciune.

d) **Aplicațiile curenților de înaltă frecvență și înaltă tensiune.** Am arătat, la descrierea fenomenului de rezonanță în înaltă frecvență, cum se pot obține curenți de tensiune foarte ridicată, care au aplicații similare cu cele ale electricității statice.

Un aparat folosit pentru producerea acestor curenți este rezonatorul *Oudin*, pe care l-am descris într-un paragraf precedent. Am arătat că la un moment dat se produce în vârful superior al bobinei un fascicul scinteiilor (egretă). Tensiunea electrică a circuitului de rezonanță a atins maximul și astfel apar efluvii.

Aplicațiile medicale de tensiune sînt aceleași ca cele descrise la mașina statică. Aplicațiile de tensiune ale curenților de înaltă frecvență sînt mult mai eficace și acoperă un domeniu mai întins. Din această cauză, mașinile electrostatice au fost în bună parte înlocuite în practica medicală.

Tensiunea atinsă de aparatele moderne de înaltă frecvență cu rezonatori (fig. 477) variază între 40 și 90 kV. Aceste aplicații sînt monopolare. Curentul intră în organism printr-un singur pol, căruia i s-a atașat un electrod adecvat: pensulă de metal, care produce efluvii la distanță de piele, sinteiatori cu ajutorul unei mase metalice, sferice sau conice, cum și aplicarea electro-

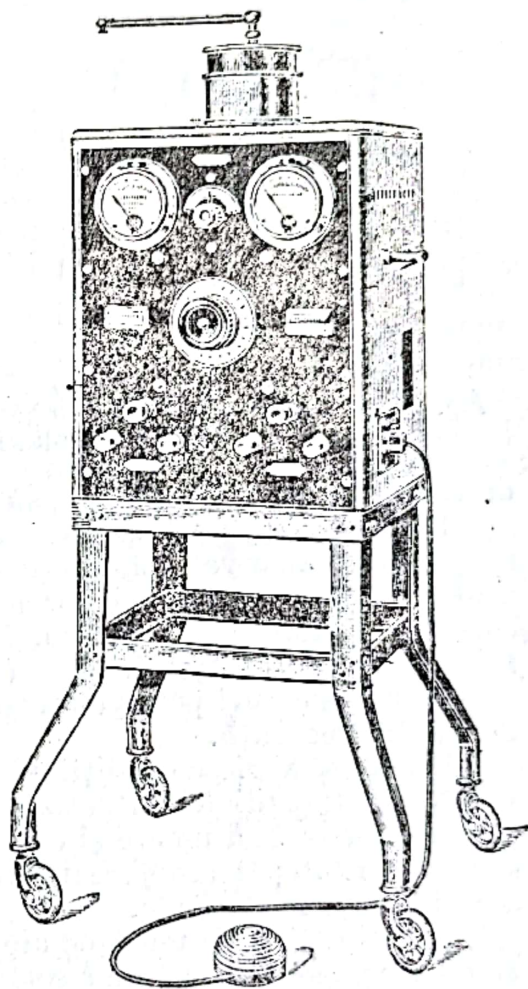


Fig. 477 — Aparat de diatermie cu rezonator (în partea superioară) pentru înaltă frecvență și înaltă tensiune.

zilor direct pe piele. În aceste aplicații monopolare, avem în aparență un circuit deschis; în realitate, circuitul se închide prin câmpul electromagnetic de înaltă frecvență ce înconjură aparatul în timpul funcționării și care am văzut că se poate pune în evidență cu un bec de neon, ce se aprinde începând de la o distanță de câțiva metri de aparat.

Efluviiile de înaltă frecvență produc același efect și au aceleași indicații ca și cele obținute cu mașina electrostatică. Ca electrozi servesc mici periute de fire metalice, pe care medicul le ține cu un mâner izolant la distanță de

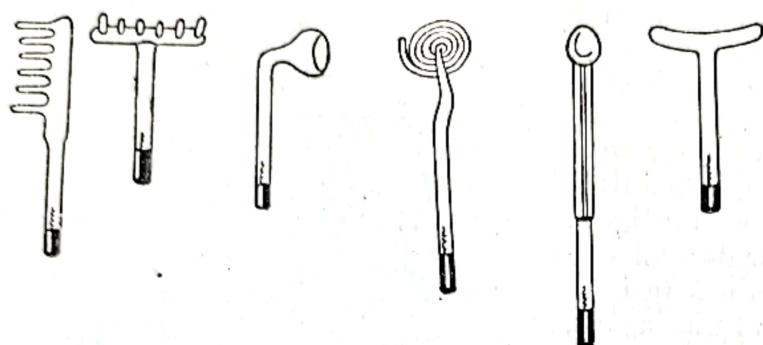


Fig. 478 — Electrozi de sticlă cu gaze rarefiate pentru diferite aplicații de înaltă frecvență.

bolnav, astfel că apar între subiect și electrozi efluvii și egrete de culoare violetă. Se poate produce o ploaie fină de scînteii, deplasînd, pe o regiune mai mult sau mai puțin întinsă, un electrod condensator legat de rezonatorul Oudin. O scînteiere mai puternică se obține ținînd la o anumită distanță

de bolnav un electrod metalic, sferic sau cilindric, legat de rezonator.

Scînteile de înaltă tensiune și înaltă frecvență produc, ca și scînteile mașinii statice, o vasoconstricție urmată de o vasodilatație paralică și de eritem. Se poate obține chiar necroza țesuturilor cu ajutorul scînteilor concentrate timp suficient pe un anumit loc. Se distrug astfel mici epitelioame cutanate, tumori benigne (în chirurgia urinară) etc.

În unele cazuri postoperatorii, se aplică fulgurația, adică scînteii lungi de înaltă frecvență.

Făcînd să varieze condițiile în care se produc oscilațiile de înaltă frecvență, distanța dintre electrozi, eclatorul, dimensiunile rezonatorului, se pot produce scînteii ușoare și calde care acționează prin efectul lor termic, sau scînteii înțepătoare și reci care au efect mai mult mecanic. Scînteierea are și efecte bactericide.

În aplicațiile de tensiune ale curentului de înaltă frecvență, electrozii au o formă deosebită de cea a celorlalți electrozi medicali. Ei poartă numele de electrozi condensatori și sînt formați în general dintr-un conductor metalic, susținut de un mâner izolant și acoperit cu un manșon de sticlă, care se așază în contact cu tegumentele. Cînd conductorul central al electrodului este legat de instalația de înaltă tensiune, țîșnește prin manșonul de sticlă o ploaie de scînteii pe tegumente. În locul conductorului metalic se pot folosi și conductori de grafit de diferite forme.

O altă categorie de electrozi constă din tuburi de sticlă de diferite forme, în care s-a făcut un vid parțial (tuburi cu descărcări în gaze rarefiate). Acești electrozi (fig. 478) dau scînteii mai ușor decît ceilalți electrozi condensatori.

V. ACCIDENTELE PRODUSE DE ELECTRICITATE

Curentul electric și descărcările electrice de diferite categorii pot da accidente, care iau numele de electrocutări și care de multe ori sînt destul de grave, uneori chiar mortale. O manipulare nepotrivită a aparatelor sau o întreținere fără respectarea prescripțiilor și fără grijă, neținerea în seamă a

indicațiilor privind conductorii care transportă curentul și îl distribuie, fie în înaltă tensiune, fie în joasă tensiune, pot da loc la accidente. Gravitatea acestor accidente depinde de caracteristicile curentului și de condițiile în care s-a produs accidentul. Cele mai multe accidente electrice se datoresc electricității industriale și liniilor de transportat energia electrică.

Medicul trebuie să cunoască condițiile de producere și modul de prevenire a accidentelor prin electricitate, precum și tratamentul electrocutaților.

În electrologia medicală propriu-zisă, accidentele electrice sînt mai puțin frecvente, afară de radiologie, unde manipularea fără grijă a tensiunii înalte poate deveni primejdioasă.

Accidentele produse prin electricitatea atmosferică (trăznete) s-au produs din totdeauna. Prima victimă a experimentărilor electrice a fost fizicianul Rihman (colaborator al lui Lomonosov), care a fost electrocutat la 6 august 1753, pe cînd mînuia un aparat pe care-l construise pentru a măsura electricitatea captată din nori cu ajutorul unui paratrăznet, pe timp de furtună. Pentru prima oară s-a făcut atunci și autopsia unui electrocutat și s-au descris leziunile viscerale.

În 1777, Priestley a studiat acțiunea descărcărilor electrice asupra animalelor, iar Marat a cercetat, în 1781—1784, efectele descărcării unei butelii de Leyda asupra animalelor. În 1866, Tourdes și Bertin au electrocutat pești, iepuri și porumbei, și au studiat efectele produse asupra lor de curenți de inducție puternici. Tourdes a studiat moartea a trei oameni uciși de trăznet pe podul de peste Rin, în Strassbourg.

Cea dintîi descriere a unui accident de electrocutare industrială datează din 1879, cînd un muncitor din Lyon a fost electrocutat de un curent alternativ de 250 V.

Într-o lucrare din 1886, Tișkov tratează pentru prima oară problema rezistenței corpului omenesc la acțiunea curentului electric, iar la 1888, Rojdestvenski cercetează pentru prima oară influența electricității statice asupra sistemului nervos.

În 1889, după un accident mortal produs de curentul electric la Paris, medicii încep să se preocupe de mecanismul accidentului electric și al consecințelor letale ale electrocutării.

A. CARACTERISTICILE CURENTULUI PRIMEJDIOS

Pentru a deveni primejdios, curentul electric trebuie să îndeplinească anumite condiții de producere, tensiune, intensitate etc. Vom reda succint aceste condiții.

1. NATURA CURENTULUI

Experiențele făcute asupra animalelor au arătat că curentul continuu nu este primejdios chiar la tensiuni mai mari de 220 V. Curentul alternativ dă însă efecte variate, în funcție de frecvența lui. Diferența de potențial de 70 V este mortală pentru curentul alternativ. Tensiunea primejdioasă scade treptat, pe măsură ce frecvența crește de la 50 la 100 Hz, apoi crește din nou. Deci, curentul alternativ cu frecvența de 50—100 Hz este cel mai primejdios, fiindcă poate deveni mortal chiar la o tensiune mică.

2. ROLUL TENSIUNII

Rolul tensiunii în mecanismul accidentelor se poate schematiza astfel: curentul alternativ de la 120 V în sus produce o inhibiție a centrilor nervoși. Are loc o oprire a respirației prin paralizia centrilor respiratori. Dacă oprirea n-a fost destul de lungă pentru a produce asfizia definitivă, respirația se restabilește singură, ori poate fi restabilită prin practicarea respirației artificiale. La o diferență de potențial mai mică de 120 V, curentul alternativ influențează puțin centrii nervoși; respirația este aproape neatinsă, dar se oprește inima; se produce o contracție dezordonată a diferitelor fascicule musculare, care au pierdut orice sincronism. În această stare de fibrilație, nu mai există undă sanguină. Tensiunea cuprinsă între 240 și 500 V dă ambele efecte deodată, adică și fibrilația inimii și inhibiția centrilor respiratori.

3. INTENSITATEA CURENTULUI

Aceasta are un rol foarte însemnat în producerea accidentelor electrice. Nu este suficient ca un curent să aibă anumită tensiune, ci trebuie să aibă și intensitatea suficientă pentru ca accidentul să se producă. Cercetările au arătat că este nevoie de cel puțin 100 mA pentru a se produce electrocutarea în curent alternativ. După Jellinek, Weiss și alții, curentul continuu trebuie să aibă intensitatea de patru ori mai mare pentru a fi la fel de primejdios ca cel alternativ, dacă toate celelalte condiții rămân identice. Experiențele făcute pe animale au confirmat faptul că, pentru a fi primejdioasă, intensitatea trebuie să fie de patru-cinci ori mai mare la curentul continuu decât la cel alternativ.

De aceea se pot face tratamente electrice aplicând un curent galvanic de intensitate mai mare, calculată astfel ca să nu fie primejdioasă.

Curentul electric începe să fie periculos de la o intensitate de 25 mA. După unii autori, pericolul unui contact electric poate fi definit prin intensitatea curentului care străbate corpul. În tabelul 43 este arătată primejdia în legătură cu intensitatea curentului.

Tabelul 43

Intensitatea maximă admisibilă neprimejdioasă	20 mA
Intensitatea periculoasă	50 mA
Intensitatea mortală	100 mA

4. REZISTENȚA ELECTRICĂ A CORPULUI OMENESC

Intensitatea curentului fiind invers proporțională cu rezistența electrică a corpului pe care îl străbate curentul, pentru patogenia accidentului este importantă rezistența corpului uman. Faptul că sensibilitatea la accidentul electric variază de la om la om este în legătură cu rezistența electrică diferită a fiecărui corp. Această rezistență se modifică și pe cale psihică, și este condusă de scoarța cerebrală. Bolnavii de inimă și vase sînt cei mai sensibili la excitație electrică. În somn, în stare de beție, de narcoză, sensibilitatea este mai mică, starea vegetativă avînd un rol însemnat. Rolul scoarței se vedește prin faptul că, la un subiect prevenit, accidentul electric se produce mai greu și este mai puțin primejdios în interiorul unor anumite limite, decât la unul neprevenit.

Aplicînd legea lui Ohm sub forma:

$$R = \frac{E}{I}$$

vom avea pentru o forță electromotoare de 110 V și o intensitate de 0,025 A, o rezistență egală cu

$$110 : 0,025 = 440 \text{ ohmi.}$$

Sub această rezistență-limită, orice contact devine primejdios.

Prin numeroase experimentări s-a stabilit rezistența electrică a corpului omenesc.

Pielea (mai precis, stratul cornos al epidermului) apără corpul omenesc contra agenților externi și contra atacului electric; cum pielea nu este la fel la diferiți oameni și nici în diferitele regiuni ale corpului la același subiect, rezistența corpului este și ea variabilă. Rolul protector al pielii depinde de grosimea ei, de starea ei de umiditate, de curățenia ei.

La un muncitor manual, care are pielea mâinilor îngroșată din cauza specificului muncii, rezistența poate atinge 100 000 ohmi. Rezistența scade repede dacă pielea este subțire și umedă; în aceste condiții ea poate ajunge chiar pînă la 1 000 ohmi.

După Weber, rezistența măsurată între cele două mâini, pentru o intensitate de 14 mA, este redată în tabelul 44.

Tabelul 44

Rezistența între cele două mâini, în funcție de starea mâinilor la $I = 14 \text{ mA}$

Starea mâinilor	Rezistența Ω
Mâini uscate	5 740—2 150
Mâini umezite cu apă de ploaie (fără săruri)	3 200—1 800
Mâini umezite cu o soluție de carbonat de sodiu	2 400—1 300

Rolul pielii în rezistența totală a corpului este arătat de cifrele din tabelul 45, care redau rezistența pe traiecte (după Jellinek).

Tabelul 45

Din dosul palmelor, la regiunea anterioară a abdomenului	40 000 ohmi
Din palmă, la talpă	80 000 ohmi
De la mucoasa bucală, la anus	1 000 ohmi

În general, corpul omenesc alcătuiește o rezistență electrică complexă, formată dintr-un număr de rezistențe parțiale, așezate unele în serie, altele în paralel.

Schema din fig. 479 arată, atât rezistențele, cât și capacitățile pe care le prezintă corpul omenesc la traversarea curentului.

În ce privește conductibilitatea corpului uman, dacă notăm cu 100 conductibilitatea unui corp bun conductor de electricitate, conductibilitatea diferitelor organe și țesuturi ale corpului este dată de cifrele din tabelul 46.

Tabelul 46

Țesutul subcutanat puternic vascularizat	80
Mușchii	75
Creierul	68
Pielea	16
Nervii	15
Țesutul osos	14
Țesutul adipos	10

Dar nu numai corpul omenesc are rol în rezistență, la trecerea curentului. Dacă accidentatul a apucat cu mâna un singur pol al unui circuit, pericolul de electrocutare depinde numai de faptul dacă victima este bine izolată de pământ, căci pământul are rolul celuilalt pol. Dacă încălțăminte este uscată, corpul plus încălțăminte formează un sistem foarte rezistent, ceea ce micșorează mult primejdia, chiar dacă tensiunea este ridicată. Primejdia este cu atât mai mică cu cât solul este mai rău conducător de electricitate și cu cât contactul omului cu solul este mai rău. Astfel, un electrician, pe un covoraș de cauciuc, poate atinge fără primejdie un conductor la potențial mai ridicat, care l-ar fi electrocutat dacă ar fi stat direct pe sol și acesta ar fi fost umed.

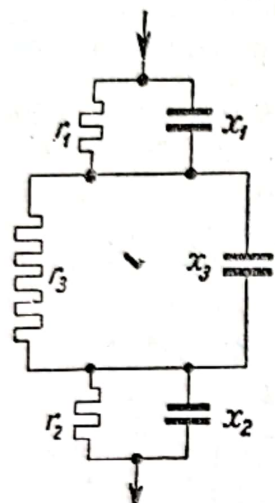


Fig. 479 - Schemă de rezistențe și capacități care reprezintă pe cele din corpul omenesc.

În cazul curenților de tensiune înaltă, cum sînt cei folosiți în radiologie, corpul omenesc formează un condensator încărcat prin influența electrostatică și care este traversat de un curent; deci, dacă cineva (chiar fiind perfect izolat) atinge un conductor de înaltă tensiune al instalației de radiologie, poate suferi efecte analoge, deși mai puțin intense, ca și cînd n-ar fi izolat.

La liniile de înaltă tensiune prin care se transportă energia electrică de la centrale electrice care produc energia și pînă la locul de consum, izolarea omului trebuie să fie mult mai bună; manipularea se face după normele și prescripțiile de exploatare, de securitate și protecție a muncii pentru liniile de înaltă tensiune.

5. DURATA CONTACTULUI

Un rol însemnat în producerea accidentului îl are durata contactului, aceasta fiindcă un contact mai prelungit duce la modificarea rezistenței corpului. Dacă cineva atinge cu mâna un conductor și este electrocutat de curentul electric, astfel încît mâna se tetanizează din primul moment, victima nu o mai poate desprinde de conductor și deci contactul se prelungeste; efectele sînt mai grave, întrucît cantitatea de curent care străbate corpul este o funcție de timp. Acest contact de durată mai mare poate duce la carbonizarea (cremațiunea) unei părți a corpului. Prin carbonizare, regiunea capătă însă brusc o rezistență foarte mare; curentul nu mai poate trece și electrocutatul poate scăpa de restul consecințelor. Se cunosc astfel de cremațiuni parțiale, victima scăpînd cu viața.

Ca și la celelalte caracteristici ale curentului primejdios, s-a stabilit și durata primejdioasă. Astfel, cu un curent continuu, de tensiune joasă, se poate produce fibrilația inimii într-o zecime, pătrime, treime sau doime de secundă, în timp ce curentul de tensiune ridicată, care lucrează asupra centrilor respiratori producînd inhibarea lor, poate fi vătămător chiar în a 12-a parte dintr-o secundă.

6. TRAIECTUL CURENTULUI

Calea urmată de curent în corp are și ea însemnătate în gravitatea accidentului. Trecerea curentului prin organism prezintă primejdia cea mai mare atunci cînd, fie centrul nervos, fie inima, fie împreună, se află pe

traiecul cel mai scurt al curentului electric. În acest caz, densitatea curentului are valoare foarte mare la nivelul acestor organe și primejdia este maximă. Situația aceasta se prezintă când accidentatul are contact prin cap și picioare, prin cap și braț, prin cele două brațe sau prin brațul stâng și picioare.

Același curent devine mai puțin primejdios dacă organele importante nu sînt atinse decît prin derivații mai puțin însemnate din punctul de vedere descris mai înainte, adică dacă curentul trece de la un picior la altul, de la un deget la altul ale aceleiași mîni etc. Dacă corpul omenesc face un scurt-circuit între cele două fire conducătoare, atingîndu-le pe amîndouă deodată, el este supus întregii diferențe de potențial.

La supraviețuitori s-a observat că, îndeosebi la mîini, arsurile formează leziuni caracteristice, numite uneori „semne electrice” (fig. 480).

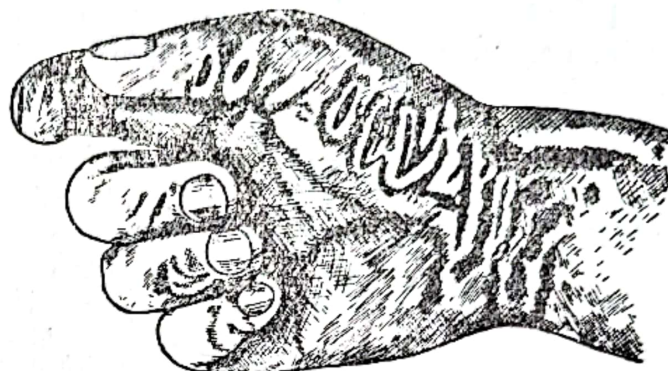


Fig. 480 — „Semn electric” (produs de electrocutare).

B. PREVENIREA ACCIDENTELOR ELECTRICE

Întrebuințarea din ce în ce mai întinsă a curentului electric în industrie, transporturi, agricultură, iluminatul public, nevoi culturale, sanitare, casnice etc. face necesare măsuri de prevenire a accidentelor ce s-ar putea produce prin curentul electric.

Măsurile de prevenire sînt de domenii diferite, de natură culturală generală, de resortul protecției muncii, de caracter igienico-profilactic general; toate contribuie la apărarea omului.

Dintre toate aceste măsuri cităm: ridicarea nivelului cultural; grija de tehnica securității în instalațiile electrice; protecția muncii pre-tutindenii unde se lucrează cu curentul electric; prevenirea accidentelor de muncă în instalațiile electrice de lumină, forță, transport de energie etc.; măsuri de prevedere în folosirea electricității în scopuri casnice etc.

În fig. 481 este arătată o scară cu picioarele izolate față de pămînt, pentru lucrări la liniile electrice.

Afișe sugestive pentru masele mai puțin obișnuite cu manipularea conductorilor trebuie așezate în diferitele puncte primejdioase, la liniile de transport de înaltă tensiune, la liniile aeriene de distribuție.

Prevenirea accidentelor în electrologia medicală prezintă o deosebită importanță pentru medic și personalul auxiliar de deservire. Curentul electric continuu, produs de baterii galvanice și acumulatori și folosit în electrodiagnostic și

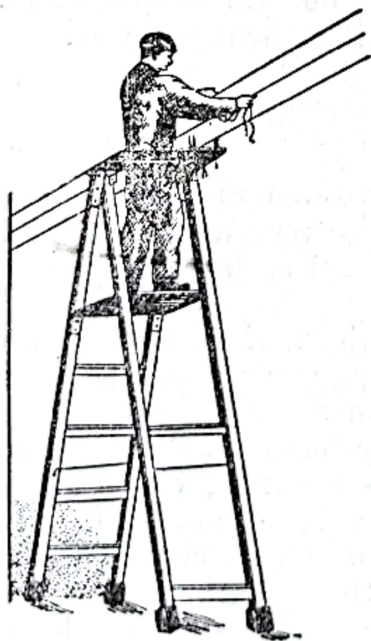


Fig. 481 — Scară izolată pentru evitarea contactului cu pămîntul.

electroterapie, nu are tensiunea și intensitatea primejdioase. Chiar în cazul folosirii unei intensități de peste 200 mA, curentul fiind difuzat pe o suprafață mare a corpului, densitatea în fiecare punct este prea mică pentru ca să apară primejdia electrocutării.

Această primejdie apare însă cînd se utilizează curentul de la rețeaua publică de distribuire, care are 120 sau 220 V, și anume cînd se fac aplicații. Trebuie evitată în instalațiile electromedicale orice atingere cu conductorii dați la pămînt (canalizare, apă, calorifer etc.).

Instalația de radiologie cere o serie de măsuri de prevenire și de protecție. Primejdia este mult mai mare în instalațiile de radiologie deoarece curentul folosit pentru producerea razelor Röntgen are tensiunea foarte mare. Este adevărat că diferitele condiții care determină un accident electric se pot întruni cu greu laolaltă într-o instalație de radiologie; de aceea accidentele electrice de această categorie sînt mai rare. Ele sînt evitate și prin faptul că personalul este specializat. Totuși, trebuie luate toate măsurile de izolare și de avertizare a celor care lucrează sau se află într-un cabinet radiologic.

C. TRATAMENTUL ELECTROCUTAȚILOR

Studiul îndelungat, de peste o jumătate de secol, al accidentelor produse de electricitate, a arătat că electrocutarea se poate desfășura în două moduri: ori electrocutarea este mortală de cum se produce accidentul, ori, după o perioadă de inhibiție a centrilor respiratori, de durată mai mare sau mai mică, accidentatul începe să respire din nou și își recăpătă cunoștința.

S-a putut stabili că tratamentul principal pentru electrocuțați este tratamentul general al asfixiilor. „Electrocutatul trebuie tratat ca un înecat sau ca un asfixiat” este concluzia la care au ajuns cercetătorii.

Dacă curentul electric a acționat numai asupra centrilor respiratori, accidentatul poate fi salvat. De aceea, la un om care și-a pierdut cunoștința, se iau măsuri de salvare. Aceste măsuri sînt de mai multe feluri: măsuri urgente, respirație artificială și tratamentul medical ulterior.

1. MĂSURI URGENTE

Aceste măsuri constau, în primul rînd, din scoaterea victimei de sub contactul cu conductorul electric care a produs electrocutarea. Operația trebuie făcută cu cea mai mare atenție, căci altfel cel ce încearcă să salveze pe accidentat poate fi și el electrocutat.

Pentru scoaterea accidentatului de sub tensiunile mai mari, dar care nu trec de 600 V, trebuie să ne izolăm, adică să punem picioarele pe o scîndură uscată, pe un carton gros uscat, ori pe un scaun de lemn. Conductorul electric se îndepărtează de victimă cu ajutorul unei prăjini de lemn uscat (nu o ramură verde de copac). În toate cazurile, victima trebuie atinsă cu o singură mîină, și aceasta să fie uscată, nu umedă. O dată îndepărtată de la contactul cu linia electrică sau cu mașina care a produs electrocutarea, victima poate fi atinsă fără primejdie.

Accidentatul intrat în faza de asfixie are aspectul unui om beat, facultățile lui intelectuale dispar. Are faze de agitație, mișcă buzele și picioarele; pulsul este accelerat la început, pe urmă scade și devine deprimabil. Această fază durează cam două minute de la electrocutare.

Dacă în acest interval reușim să scoatem victima din circuitul care a produs accidentul și să o întindem pe o masă, pentru a se începe imediat respirația artificială, accidentatul poate fi readus la viață.

2. RESPIRAȚIA ARTIFICIALĂ

În general, cam 85% din accidentele electrice prezintă sufocare. Numai 15% arată o lezare a inimii, carbonizare etc. Electrocutarea aducând la început numai modificări funcționale, acestea se pot remedia dacă se intervine de urgență și cu stăruință.

Este o greșeală de neiertat să se lase victima în stare de „moarte aparentă”, fără îngrijire, sau să se abandoneze după scurtă vreme încercările de readucere la viață a electrocutatului. Imediat ce s-a scos accidentatul de sub tensiune, trebuie să se procedeze la respirația artificială. În accidentele produse prin electrocutare, faptul că pulsul victimei nu bate și că respirația este oprită nu sînt semne de moarte. Respirația artificială se face uneori ore întregi. Numai medicul poate afirma dacă moartea este reală.

3. TRATAMENTUL MEDICAL AL ELECTROCUTAȚILOR

Practicarea respirației artificiale constituie prima fază a tratamentului unui electrocutat, cea mai urgentă și cea mai însemnată. Respirația artificială se face prin procedee manuale, mecanice sau electrice, după instrucțiunile ce se dau în întreprinderi, instituții, școli, și care sînt reproduse în toate manualele pentru a populariza acest mijloc de ajutorare a unui electrocutat, asfixiat sau înecat.

Tratamentul medical se aplică ulterior. Se aplică accidentatilor o serie de tratamente: oxigen, carbogen (amestec de oxigen și bioxid de carbon, care este un excitant al centrului respirator), lobelină, tonicardiacă (injecții cu cafeină, sparteină, ulei camforat, coramină etc.), precum și tratament local (pentru arsuri, traumatisme, plăgi etc.).

NOȚIUNI DE FIZICĂ ATOMICĂ

I. STRUCTURA ATOMULUI

A. ATOMISMUL CLASIC

Structura materiei și proprietățile ei constituie una din problemele cele mai vechi și mai importante din fizică.

La baza fizicii a stat, încă din antichitate, ideea de atom. Concepția atomistă apare în Grecia antică, având ca reprezentanți principali pe Leucip, Democrit și Epicur (secolul al IV-lea și al III-lea î.e.n.), iar în Roma antică pe Lucrețiu (secolul I î.e.n.). La filozofii materialişti ai antichității, această concepție a avut un caracter intuitiv; cunoștințele de fizică ale vremii erau cuprinse într-o filozofie unică a naturii.

În decursul secolelor, concepția atomistă a evoluat mult. Astfel, în secolul al XVII-lea și al XVIII-lea, această înțelegere a lumii a constituit o ipoteză îndrăznească a fizicienilor materialişti, în frunte cu Descartes (1596–1650) și Lomonosov (1711–1765), însă fără să aibă o bază experimentală. În acea epocă, în concepția materialismului metafizic și în reprezentarea mecanicistă a lumii, legată de această concepție, materia era considerată ca fiind formată din părți discontinue, din atomi, particulele cele mai mici, de bază, ale corpurilor.

Concepția atomului ca o particulă elementară a condus pe fizicieni la ipoteza că această particulă este indivizibilă și omogenă. În baza principiilor mecanicii newtoniene, atomul a fost considerat ca având un caracter simplu, impenetrabil, inert și imuabil, care nu se poate dezvolta.

Atomii erau concepuți ca niște microparticule invizibile, perfect asemănătoare corpurilor cerești, vizibile.

În secolul al XIX-lea, atomismul a trecut din domeniul filozofic și al ipotezelor științifice în cel al științelor naturii: experimentările și descoperirile epocii au dus la o primă formă științifică a cunoștințelor despre atom.

Explicarea fenomenelor naturale din domeniul fizicii, al chimiei, al biologiei etc. se făcea considerând atomii ca particulele cele mai mici din care este formată materia.

Teoria mecanică a căldurii, enunțată de fizicienii de la mijlocul secolului al XIX-lea, ca și teoria structurii elaborată de Butlerov (1828–1886), au fost construite pe bazele atomismului.

B. ATOMUL ÎN LUMINA NOILOR CONCEPȚII

În secolul al XIX-lea, o serie de descoperiri din domeniul fizicii și chimiei au zdruncinat concepția atomului ca particulă elementară, așa cum fusese înțeleasă de fizica clasică. Printre aceste descoperiri se numără feno-

menele spectrale și periodicitatea proprietăților chimice, stabilită de Mendeleev (1834—1907). La sfârșitul secolului al XIX-lea, fenomenele descoperite în tuburile în care au loc descărcări electrice în gaze rărite (Crookes), dezintegrarea atomului substanțelor radioactive: uraniu, radium, poloniu, toriu (Becquerel, Pierre Curie și Marie Curie), descoperirea razelor X (Röntgen) au fost fapte care au răsturnat concepțiile clasice și au pus bazele unei noi fizici a atomului.

Aceste mari descoperiri de la sfârșitul secolului trecut și începutul celui actual au alcătuit fundamentul experimental al concepției noi asupra structurii materiei.

Concepția clasică despre indivizibilitatea atomului, despre caracterul invariabil al masei etc., a cedat locul atomisticii noi, iar teoria electronică a dovedit caracterul complex al atomilor.

Electronul, care a făcut legătura, în dezvoltarea cunoștințelor, între materie și electricitate, a fost bănuț încă de Faraday, Helmholtz, Stoletov.

Structura discontinuă a sarcinilor electrice a fost descoperită ca o consecință a legilor electrolizei, fiind formulată de Faraday. În adevăr, pentru a depune la catod un atom-gram de metal monovalent, oricare ar fi el, am văzut în capitolele anterioare că este nevoie de aceeași cantitate F de electricitate (numită faraday), aproximativ egală cu 96 500 coulombi (exact 96 494 coulombi sau $2,892 \cdot 10^{14}$ unități electrostatice absolute). Pentru atomii bivalenți sarcina de un faraday este transportată de o jumătate de atom-gram, iar pentru atomii trivalenți, de o treime de atom-gram. Deci, diferiții ioni transportă la electroliză sarcini care se au între ele ca numere întregi; dacă se notează cu e sarcina transportată de fiecare ion monovalent, se va nota cu $2e$ sarcina celui bivalent, cu $3e$ sarcina celui trivalent.

Helmholtz spunea: „Dacă se admite existența atomilor elementelor, nu se poate evita consecința care decurge de aci, și anume că și electricitatea, atât cea pozitivă, cât și cea negativă, este împărțită în anumite cantități elementare, care se comportă ca atomi de electricitate”.

Studiul razelor catodice a arătat concret existența acestor „atomi de electricitate” negativă, obținuți în stare liberă și putând fi deviați de un câmp magnetic sau de un câmp electric, deci nelegați de atomii substanței din care au fost separați. Pentru acești atomi de electricitate negativă, J. Stoney a propus, în 1897, numele de „electroni”.

1. CLASIFICAREA PERIODICĂ A LUI MENDELEEV

În studiul chimiei se lucrează de obicei cu masele atomice relative, adică cu greutatea atomică, luându-se ca unitate convențională $1/16$ din greutatea atomului de oxigen. Masa absolută a atomului se poate calcula din greutatea unui atom-gram, aplicând *legea lui Avogadro*, care arată că un mol din orice substanță conține același număr de molecule. În toate calculele din chimie, utilizarea acestor cifre relative și absolute are la bază presupunerea că toți atomii unui anumit element au aceeași masă. Cunoașterea greutăților atomice a fost importantă, nu numai din punct de vedere practic, dar și pentru că a dus la descoperirea unei legi importante, care leagă între ei atomii diferitelor elemente.

Numeroase elemente chimice cunoscute pînă la mijlocul secolului al XIX-lea au ridicat problema legăturii dintre ele. Mendeleev a descoperit o lege generală, care leagă elementele într-un sistem unitar și care este expresia cea mai clară a principiului structural comun al tuturor atomilor.

Sistemul periodic al elementelor stabilit de Mendeleev este un sistem natural, fiindcă Mendeleev a pornit de la înșirarea elementelor în ordinea crescândă a greutăților atomice și, cum elementele cu proprietăți analoge se repetă periodic, el a întrerupt șirul, în locurile de repetare, și a alcătuit astfel perioadele cunoscute.

Cînd Mendeleev a publicat primul său tabel (1869), se cunoșteau numai 63 de elemente. Dar la așezarea lor în sistem s-a constatat că numai 35 de elemente pot fi așezate corect, după greutățile atomice cunoscute pe atunci. Mendeleev a trebuit să schimbe, fie greutățile atomice, fie ordinea de succesiune, pentru ca elementele să poată fi așezate după însușirile lor. Faptul că au mai rămas și locuri libere în tabel a dus la presupunerea că mai există în natură elemente încă necunoscute pe atunci. La 1875 a fost descoperit elementul galiu, pe care Mendeleev l-a arătat ca fiind tocmai eka-aluminiul prevăzut de el și pentru care enunțase și caracterele fizico-chimice.

Sistemul periodic al elementelor descoperit de D. I. Mendeleev corespunde realității și este considerat ca o lege fundamentală a naturii.

Cercetările ulterioare au arătat însă că există substanțe care, deși au greutatea atomică deosebită, trebuie totuși așezate în aceeași căsuță a sistemului periodic al lui Mendeleev: aceste substanțe se numesc *izotopi*. Caracteristica distinctivă a atomului nu este deci greutatea lui atomică, ci poziția lui în sistemul periodic, determinată prin numărul căsuței pe care o ocupă elementul respectiv. Acest număr, numit număr de ordine și notat cu Z , este una din constantele fizice fundamentale ale atomului.

De la descoperirea lui Mendeleev și pînă azi, valoarea clasificării periodice a crescut necontenit. Tabelul lui Mendeleev este prezentat în diferite forme. Două din ele sînt mai cunoscute: una cu perioadele lungi, care este mai întemeiată din punctul de vedere teoretic, și alta, cea mai cunoscută și folosită, cu perioadele scurte și anexele lor, este cea mai răspîdită. Acest tabel are forma mai restrînsă și are avantaje metodice și didactice; are însă dezavantajul teoretic că repartizarea tuturor elementelor pe opt perioade se face oarecum artificial, prin introducerea subgrupelor și a triadelor din grupa a VIII-a (v. pag. 597 și 598).

2. MODELUL ATOMIC AL LUI RUTHERFORD

La începutul secolului al XX-lea se admitea că sistemul atomic este static. Pentru a putea considera electronii ca particule aflate în echilibru, s-a presupus că electricitatea pozitivă este distribuită continuu și ocupă o sferă avînd o rază de ordinul razei întregului atom, adică 10^{-8} cm, și că electronii plutesc în „norul” de electricitate pozitivă. J. J. Thomson, în modelul său atomic, interpreta emisiunea luminoasă a atomilor ca rezultat al oscilațiilor mici ale electronilor în jurul poziției lor de echilibru. Experiențele au impus însă să se renunțe la modelul static, care era depărtat de realitate, și să se treacă la un model planetar.

Acest model a fost formulat de Ernest Rutherford (1871—1937) în 1911; el reprezintă atomul ca un sistem solar, cuprinzînd o parte centrală numită nucleu și înconjurată de particule care circulă ca planetele în jurul centrului comun. Nucleul cuprinde aproape întreaga masă a atomului și are sarcina electrică pozitivă. S-a evaluat prin numeroase experimentări sarcina electrică a nucleului diferiților atomi și s-a constatat că, dacă se ia ca unitate sarcina electronului, sarcina nucleului este reprezentată prin aceeași cifră ca și numărul atomic Z al elementului considerat, fiind egală și cu sarcina electronilor atomului respectiv.

Tabelul lui Mendeleev (I)

1 H 1,0080											2 He 4,003						
3 Li 6,940	4 Be 9,02											5 B 10,82	6 C 12,010	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,000	10 Ne 20,183
11 Na 22,997	12 Mg 24,32											13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 30,98	16 S 32,06	17 Cl 35,457	18 Ar 39,944
19 K 39,096	20 Ca 40,08	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,69	29 Cu 63,57	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916	36 Kr 83,7
37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc (99)	44 Ru 101,7	45 Rh 102,91	46 Pd 106,71	47 Ag 107,80	48 Cd 112,41	49 In 114,76	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 I 126,92	54 Xe 131,3
55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La 138,92	58—71 v. seria La	72 Hf 178,6	73 Ta 180,88	74 W 183,92	76 Os 190,2	77 Ir 193,1	78 Pt 195,23	79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po 210	85 At (211)	86 Rn 222
87 Fr 223	88 Ra 226,05	89 Ac 227,05	90—101 v. seria Ac														
Familia lantanidelor				58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm (147)	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0	64 Gd 156,9	65 Tb 159,2	66 Dy 162,48	67 Ho 164,94	68 Er 167,2	69 Tm 169,4	70 Yb 173,04	71 Lu 174,99
Familia. actinidelor				90 Th 232,12	91 Pa 231	92 U 238,07	93 Np 237	94 Pu (239)	95 Am (241)	96 Cm (242)	97 k (243)	98 Cf (244)	99 At	100 Ct	101 Md		

Tabelul lui Mendeleev (II)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0
1	1 H 1,0080								2 He 4,003
2	3 Li 6,940	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,010	7 N 14,008	8 O 16,0000	9 F 19,000		10 Ne 20,183
3	11 Na 22,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 30,98	16 S 32,06	17 Cl 35,457		18 Ar 39,944
4	19 K 39,096	20 Ca 40,08	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,85	27 Co 58,94
	29 Cu 63,57	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916	36 Kr 83,7	37 Rb 85,48
5	37 Rb 85,48	38 Sr 85,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc (99)	44 Ru 101,7	45 Rh 102,91
	47 Ag 107,880	48 Cd 112,41	49 In 114,76	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 J 126,92	54 Xe 131,3	55 Cs 132,91
6	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La 138,92	72 Hf 178,6	73 Ta 180,88	74 W 183,92	75 Re 186,31	76 Os 190,2	77 Ir 193,1
	79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po 210	85 St (211)	86 Rn 222	87 Pr 223
	87 Pr 223	88 Ra 226,05	89 Ac 227,05						

58—71.....	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm (147)	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0	64 Gd 156,9	65 Tb 159,2	66 Dy 162,45	67 Ho 164,94	68 Er 167,2	69 Tu 169,4	70 Yb 173,04	71 Lu 174,93
Familia lantanidelor														

90—101.....	90 Th 232,12	91 Pa 231	92 U 238,07	93 Np 237	94 Pu (239)	95 Am (241)	96 Cm (242)	97 Bk (243)	98 Cf (244)	99 At	100 Ct	101 Md		
Familia actinidelor														

În jurul nucleului gravitează electronii. Aceștia au sarcina negativă și sînt atrași de nucleu după legile electrostaticii, tot așa cum planetele sînt atrase de Soare după legea atracției universale.

Dimensiunile particulelor care constituie atomul sînt foarte mici în raport cu mărimea atomului însuși, care are dimensiuni de ordinul 10^{-8} cm. Diametrul nucleului este de $3 \cdot 10^{-13}$ pentru heliu și cel mult $3 \cdot 10^{-12}$ cm pentru aur. Diametrul electronului este de ordinul 10^{-13} cm și este ceva mai mare decît cel al protonului.

Atomul, în stare normală, fiind electric neutru, se conchide că numărul electronilor care circulă în jurul nucleului este egal și de semn contrar cu sarcina electrică E a nucleului.

$$E = Ze,$$

unde Z este numărul de ordine al elementului în tabelul lui Mendeleev și e este sarcina electrică a electronului, cu semn schimbat.

Nucleul celui mai simplu atom, cel al hidrogenului, a fost numit *proton*.

El are o singură sarcină pozitivă și în jurul lui circulă un singur electron, deci echilibrul electrostatic i-l face o singură sarcină negativă.

Pe măsură ce greutatea atomică crește, structura atomului devine mai complexă. Greutatea atomică și sarcina electrică cresc împreună, dar nu proporțional, ci numărul atomic crește mai încet decît greutatea atomică. Astfel, heliul, care are numărul atomic 2, are greutatea atomică 4.

3. TEORIA LUI BOHR

Modelul planetar al atomului nu este în concordanță cu legile electrodinamicii clasice. După legile mecanicii clasice, acest sistem nu poate fi în echilibru decît cu condiția ca electronii să se rotească în jurul nucleului pe orbite determinate. Din punctul de vedere al electrodinamicii clasice, însă, atomul ar fi totuși nestabil, deoarece electronii, rotindu-se în jurul nucleului, capătă o accelerație, și deci atomul trebuie să radieze energie sub formă de unde electromagnetice; pierzînd astfel energie, mișcarea lui va fi instabilă și electronul va trebui să cadă cu timpul pe nucleu. În aceste condiții, frecvența rotației trebuie să varieze neconținut și atomul ar trebui să dea un spectru continuu, iar nu linii spectrale.

În realitate, atomii sînt însă foarte stabili și emit linii spectrale foarte nete. De aci se deduce că procesele ce se desfășoară în interiorul atomului nu urmează legile electrodinamicii clasice, stabilite pe baza observațiilor microscopice.

Legile care conduc procesele intraatomice au putut fi descoperite abia după un studiu îndelungat și aprofundat al proprietăților atomilor. Între altele, s-a constatat existența unor stări staționare stabile ale oscilatorilor. Niels Bohr (1913) a formulat clar acest principiu și l-a generalizat pentru orice sistem atomic; s-a arătat astfel că nu se poate aplica fizica clasică la mișcările intraatomice.

Concepția cuantică formulată de Planck cu privire la schimbul de energie între cîmpul de radiație și oscilatorii liniari a căpătat importanță universală, fiind expresia celei mai caracteristice însușiri a proceselor din lumea intraatomică.

Bohr a formulat următoarele două postulate, care constituie baza teoriei cuantice a structurii atomului.

a) Atomii și sistemele atomice se pot afla timp îndelungat numai în stări staționare, în care nu emit și nu absorb energie, deși în aceste stări

au loc mișcări ale particulelor încărcate. În aceste stări, caracterizate prin stabilitatea lor, sistemele atomice posedă energii care formează un șir discontinuu $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$. Variațiile de energie provocate de absorbția sau de emisiunea de radiații electromagnetice sau de ciocniri se pot face numai printr-un salt, de la o stare la alta.

b) La trecerea dintr-o stare staționară în alta, atomii emit sau absorb radiații de frecvență bine determinată. Radiația emisă sau absorbită la trecere de la starea E_m la starea E_n este monocromatică, iar frecvența ν a acestei radiații se determină din condiția

$$h\nu = E_m - E_n,$$

numită *condiția frecvențelor lui Bohr*.

Ambele postulate cuantice ale lui Bohr contrazic net condițiile electrodinamicii clasice, deoarece, conform primului postulat, atomii nu emit radiații, deși electronii care intră în structura atomului execută o mișcare accelerată, pe orbite închise, iar conform celui de-al doilea postulat, frecvențele emise nu au nimic comun cu frecvențele mișcărilor periodice ale electronilor. Postulatele cuantice ale lui Bohr au căpătat o confirmare experimentală prin lucrările făcute ulterior. Ele au fost confirmate și prin mecanica ondulatorie.

Bohr a aplicat dinamicii atomului teoria cuantelor enunțată de Planck (1902), și care admite că energia se poate transmite între materie și radiații prin cantități elementare, discontinue, numite *cuante*. Energia prezintă astfel o structură discontinuă, ca și materia. Cuantele sînt caracterizate de faptul că ele sînt proporționale cu frecvența radiației, așa că au expresia

$$\varepsilon = h\nu,$$

unde ν este frecvența radiației și h este o constantă universală, numită constanta lui Planck, și care are valoarea

$$h = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ ergi. s.}$$

După teoria cuantică aplicată dinamicii atomului, electronii nu pot descrie decît anumite orbite: trebuie să admitem că, atît timp cît un electron rămîne pe aceeași orbită, el nu emite energie. În fiecare atom există deci anumite orbite staționare, la diferite distanțe de nucleu. Aceste orbite se numesc *niveluri de energie*. Ele se îmbracă una pe alta ca niște straturi și sînt în număr mai mare la atomii cu greutatea atomică mai mare. Ele sînt notate, începînd din centru, cu literele K, L, M, N , și nu cuprind același număr de electroni. Unele din aceste straturi sînt împărțite în sub-straturi, iar la unii atomi formarea unui strat se oprește pentru moment, în timp ce un strat mai îndepărtat începe să se formeze.

4. ELECTRONII

Pentru înțelegerea diferitelor fenomene atomice întîlnite în radiologie și în alte domenii ale fizicii atomice este necesară o caracterizare a proprietăților fizice, atît ale straturilor electronice, cît și ale nucleului.

Electronii din stratul periferic sînt mai puțin atrași de nucleu din cauza distanței și a prezenței altor straturi electronice care se interpun între ei și nucleu. Electronii de pe stratul periferic vor părăsi deci atomul cu mai multă ușurință. Ei participă astfel la reacțiile chimice, pentru care motiv au fost numiți electroni de valență. Dacă numărul electronilor de pe ultimul strat este maxim, elementul are stabilitate maximă. Acesta este cazul

gazelor rare (zerovalente) care au 8 electroni pe orbita periferică (cu excepția heliului) și dătoresc acestei structuri stabilitatea care se manifestă prin inerția lor chimică.

Sub anumite acțiuni perturbatoare, despre care va fi vorba mai departe, un electron din nivelul periferic se poate îndepărta puțin de restul atomului pentru a descrie momentan orbite staționare mai mult sau mai puțin îndepărtate. Un astfel de electron poate să cadă pe o orbită mai apropiată de nucleu, în care caz el restituie energia primită pentru îndepărtare; această emisiune de energie are loc sub formă de radiație. Dacă trecerea are loc între orbitele exterioare, radiația emisă va corespunde unei frecvențe mai mici, deci unor lungimi de undă mai mari, de domeniul infraroșului sau al spectrului vizibil.

Pentru a scoate electronii din straturile mai apropiate de nucleu este nevoie de energii mai mari și, reciproc, după teoria lui Planck, energia radiantă care corespunde perturbărilor aduse acestor niveluri de energie va avea frecvența cu atât mai mare cu cât ne vom apropia de nucleu. Dacă un electron de pe straturile interne este expulzat din atom, fie prin absorbirea unei cuante de energie radiantă, fie prin șocul unui electron cu viteză mare, un alt electron aflat pe una din orbitele exterioare îi ia locul, și energia pe care o emite ia forma unei anumite radiații de frecvență mare, care depinde de nivelul de energie al electronului expulzat și al celui care-i ia locul. În felul acesta se emit razele X.

Teoria lui Bohr a întâmpinat numeroase dificultăți, prin faptul că multe din enunțări nu au putut fi verificate de practică. O astfel de dificultate a fost întâmpinată la încercarea de explicare a caracterului de dubleți al spectrelor metalelor alcaline și a caracterului mai complicat de multipleți al spectrelor celorlalte elemente; fenomenul a fost explicat de D. S. Rojdestvenski prin ipoteza că dubleții și tripleții din spectru apar în urma dedublării nivelurilor electronului exterior, sub influența cimpului magnetic format de ceilalți electroni.

Dificultățile legate de anomaliiile magnetice ale atomilor au putut fi înlăturate într-o anumită măsură cu ajutorul ipotezei că electronul are un moment mecanic propriu și un moment magnetic propriu, legat de momentul mecanic; acestea pot fi explicate prin mișcarea de rotație continuă a electronului în jurul axei sale. S-a dat momentului electronului numele de *spin* (fus, în limba engleză), prin asemănarea cu rotația fusului în jurul axei sale.

Momentul magnetic μ al unui circuit închis (cum este mișcarea electronului) este egal cu produsul dintre intensitatea i a curentului și suprafața s a circuitului:

$$\mu = i \cdot s.$$

Momentul magnetic al particulelor din atom se măsoară cu unitatea numită magneton; aceasta are valoarea numerică

$$\mu_0 = 9,27 \times 10^{-21} \frac{\text{erg}}{\text{gauss}}$$

și se numește magnetonul lui Bohr.

5. NUCLEUL

Constatându-se că, deși sarcinile electrice ale nucleului se neutralizează cu cele ale electronilor din jur, totuși greutatea atomică, care la atomul de hidrogen este concentrată aproape exclusiv în nucleu, nu crește

la celelalte elemente la fel cu numărul electronilor, ci mai repede, s-a admis că, în afară de protoni se află în nucleu, la celelalte substanțe, particule materiale, care participă la greutatea atomică, dar care nu sînt încărcate electric. Aceste particule au fost numite neutroni. Descoperindu-se și alți componenți ai nucleului, putem spune azi că nucleul atomului este compus din următoarele particule elementare (nucleoni):

a) **Protonul.** Protonul este o particulă elementară, care poartă o sarcină electrică pozitivă. Masa relativă a protonului este egală cu 1,007 573, iar raportul dintre masa protonului și cea a electronului este

$$\frac{m_p}{m_e} = 1\,836,5.$$

Acest număr reprezintă masa relativă a nucleului de hidrogen, al cărui atom are un proton și un electron. Spinul protonului este egal cu 0,5, iar momentul magnetic, cu 2,8 magnetoni nucleari. Nucleul de hidrogen conține un singur proton. În stare liberă se găsesc protoni în razele cosmice.

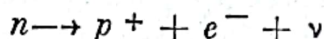
S-a emis ipoteza că în afară de protoni ar trebui să existe și antiprotoni (tot așa cum în afară de electroni există și pozitroni, cum vom vedea mai departe) și s-a arătat că este probabil că se vor descoperi și astfel de particule (care să aibă aceeași masă și același spin ca și protonii, însă cu sarcină negativă), de îndată ce vor putea fi creați acceleratorii care să furnizeze particule cu energie de cîteva miliarde electron-volți. În 1955, antiprotonul a fost pus în evidență în mod experimental.

b) **Neutronul.** Neutronul este o particulă elementară grea, fără sarcină electrică. El a fost introdus teoretic de D. D. Ivanenko și descoperit în 1932 de Chadwick. În scara fizică, masa relativă a neutronului este ceva mai mare decît a protonului și anume 1,008 941. Raportul dintre masa neutronului și cea a electronului este:

$$\frac{m_n}{m_e} = 1\,839.$$

Spinul neutronului este de 0,5; el are un moment magnetic egal cu 1,930 magnetoni nucleari.

Neutronul liber este radioactiv. El se transformă într-un proton p , un electron e și o altă particulă ν numită neutrino.



c) **Neutrino.** Neutrino este o particulă ușoară elementară, lipsită de sarcină electrică. Masa lui de repaus nu este încă cunoscută cu precizie, dar este mult mai mică decît a electronului. Spinul lui este egal 0,5. În cursul transformărilor radioactive din neutron în proton sau invers, ia naștere un electron, respectiv pozitron și un neutrino. Această particulă, prezisă teoretic de fizicienii Pauli și Fermi, a fost descoperită de fapt și sînt dovezi convingătoare pentru existența ei; studiarea ei este însă dificilă, din cauză că nu are sarcină electrică; avînd și o masă foarte mică, aproape că nu intră în interacțiune cu corpurile materiale.

d) **Pozitronul.** În afară de electronii negativi pe care i-am examinat, mai există și electroni pozitivi, numiți pozitroni sau pozitoni, care au aceeași masă cu cei negativi:

$$m_{poz} = 9,106 \cdot 10^{-28} \text{ g},$$

cum și spinul de 0,5, dar au sarcina de semn opus electronilor. Momentul magnetic al pozitronilor, ca și al electronilor negativi, este egal cu un

magneton Bohr. Pozitronul a fost descoperit în 1932 de Anderson și Blackett. Pozitronii se deosebesc de electroni prin viața lor scurtă. Pozitronii, ca și electronii, pot lua naștere în decursul transformărilor radioactive, așa cum s-a arătat mai înainte.

e) **Mezonii.** Mezonii sau mezotronii sînt particule nestabile, care au o masă intermediară între masa electronului și cea a protonului. Au fost descoperiți în 1937 în razele cosmice și au o masă de aproximativ zece ori mai mică decît a protonului. Pînă în 1948, razele cosmice au fost unica sursă cunoscută de mezoni: un cm^2 de suprafață terestră primește, la nivelul mării, 1 mezon în medie pe minut. În 1948 s-au realizat mezoni în laborator, așa că studiul problemelor complicate de interacțiune a mezonilor cu substanțele materiale s-a putut face experimental. Există mezoni pozitivi, negativi și neutri.

f) **Deutoni.** În fine, după proton și neutron, cea mai simplă particulă nucleară este deutoni. Deutoni constă dintr-un proton și un neutron, și constituie nucleul unui izotop al hidrogenului, anume al hidrogenului greu (deuteriul D_1^2). Numărul de masă $A = 2$, iar numărul de ordine (sarcina) $Z = 1$.

6. FORȚELE NUCLEARE

De cum s-au descoperit elemente radioactive, s-a bănuț—după energia eliberată în dezagregarea spontană a atomilor—că forțele care atrag între ei diferiții componenți ai nucleului sînt considerabile.

Cercetările au arătat că forțele nucleare nu au un caracter perfect central. De asemenea se observă o dependență a forțelor nucleare de orientarea spinului, interacțiunea neutron-proton depinzînd de orientarea reciprocă a spinilor.

Cele mai importante proprietăți ale forțelor nucleare, cunoscute pînă în prezent, pot fi rezumate astfel:

a) Forțele nucleare acționează între nucleoni de aceeași sarcină (proton-proton), între nucleonii încărcăți și cei neutri (proton-neutron) și între nucleonii neutri (neutron-neutron). În toate aceste cazuri, forțele nucleare sînt aproximativ aceleași în ceea ce privește variația lor cu distanța și în privința mărimii.

b) Forțele nucleare sînt forțe de acțiune pe distanțe mici, ele manifestîndu-se numai pînă la distanțe de ordinul 10^{-13} cm.

c) Forțele nucleare au proprietatea de saturație.

În mod intuitiv se poate spune că s-a evaluat prin diferite metode energia absorbită în formarea atomilor la cîteva zeci de milioane de electron-volți pentru nucleele ușoare și la sute de milioane de electron-volți pentru nucleele grele.

Se poate admite că există în nucleu niveluri de energie asemănătoare celor ce se observă în partea periferică a atomului, dar de valoare mai mare decît acestea.

Emisiunea razelor γ ale corpurilor radioactive se face după un mecanism analog celui al emisiunii razelor X; în loc ca electronii să-și schimbe nivelul de energie, corpusculele, adică nucleele de heliu, au acest rol în regiunea centrală, în nucleul atomului. Și cum aceste salturi de energie de cîteva milioane de electron-volți au o valoare mult mai ridicată decît în partea periferică, ele atrag, după legea lui Planck, emisiunea de cuante de energie radiantă considerabile, care constituie razele γ .

Nucleul atomic este caracterizat prin sarcina sa pozitivă E , care este un multiplu întreg al sarcinii electronului

$$E = Ze,$$

unde Z este numărul atomic egal cu numărul de ordine al elementului în sistemul periodic al lui Mendeleev. O altă caracteristică a nucleului atomic este masa lui M_A , care este legată de greutatea atomică a elementului. Greutatea atomică a fiecărui element este raportul dintre masa M_A a atomului acelui element și $1/16$ din M_o , masa atomului de oxigen.

Cum însă greutatea atomice sînt de cele mai multe ori fracționare, cînd după toate datele teoretice ele trebuie să fie întregi, s-a ajuns, după numeroase cercetări, la descoperirea izotopilor, adică a elementelor care, deși au același loc în tabelul lui Mendeleev (*izotop* = același loc), au totuși greutatea atomică diferită.

Dacă doi atomi al căror nucleu are aceeași sarcină electrică Z , deci același număr atomic, au mase diferite, protonii lor sînt în număr egal, fiindcă ei au sarcina electrică egală, dar neutronii, care sînt neutrii, sînt în număr deosebit. Dacă aceste două feluri de atomi sînt amestecate, se consideră acest amestec drept un corp pur, și greutatea lui, care este o medie aritmetică ce depinde de cele două greutăți atomice ale componentilor și de numărul cu care ei intră în amestec, dă greutatea atomică medie, care de cele mai multe ori este fracționară.

Astfel de exemplu, masa atomică de 35,46 a clorului este media celor doi izotopi de clor cu masa 35 și 37, aflați în toate corpurile care conțin clor, în proporție invariabilă, așa că clorul apare totdeauna cu masa atomică medie 35,46. Numele de *izotopi* a fost dat de Soddy.

Termenul de comparație, oxigenul, cu greutatea atomică 16, este și el un izotop. Valoarea absolută în grame a masei atomului acestui izotop al oxigenului cu $A = 16$ se află făcînd raportul dintre masa 16 g a atomului-gram al acestui izotop al oxigenului și numărul lui Avogadro, care arată cîți atomi se află în acest atom-gram.

$$M_o = \frac{16}{6,023} \cdot 10^{23} = 26,576 \cdot 10^{-24} \text{ g.}$$

Unei unități de greutate atomică, care este a 16-a parte a greutății atomice a oxigenului, îi corespunde o masă de

$$\frac{26,576 \cdot 10^{-24}}{16} = 1,662 \cdot 10^{-24} \text{ g.}$$

De aci rezultă că valoarea absolută a masei M_A a oricărui izotop este dată de relația

$$M_A = 1,662 \cdot 10^{-24} A \text{ (grame)}$$

unde A este masa relativă a izotopului, față de izotopul oxigenului cu $A = 16$.

Greutățile atomice ale izotopilor puri se determină cu spectogramele de masă și spectrometrele de masă, aparate utilizate în practica numărării și observării particulelor.

II. EFECTUL FOTOELECTRIC

A. FENOMENUL FOTOELECTRIC

Efectul fotoelectric este una din manifestările naturii corpusculare a luminii. Tot așa cum se obține lumina prin șocul electronic exercitat asupra atomilor, la fel se poate provoca o eliberare de electroni din atomi proiectând lumina pe suprafața unor anumite corpuri: cele două fenomene sînt deci reciproce.

În sens larg, se numește efect fotoelectric sau fotoefect apariția sau variația unui curent electric într-un circuit sub acțiunea radiațiilor luminoase care cad pe unul din elementele ce compun acel circuit. Efectul fotoelectric se prezintă sub trei forme distincte:

a) emisiunea de electroni din suprafața unor corpuri iluminate, aflate în gaze sau în vid, se numește efect fotoelectric extern sau exterior;

b) apariția, sub acțiunea luminii, a unor electroni suplimentari, în interiorul unui semiconductor, fapt care duce la micșorarea rezistenței corpului iluminat și deci la mărirea conductibilității lui, constituie efectul fotoelectric interior sau intern;

c) efectul fotoelectric al stratului de baraj sau de blocare (de închidere, de barieră) constă în apariția unei forțe electromotoare sub acțiunea luminii care cade pe limita metal-dielectric; efectul similar, care constă în apariția unui curent la limita metal-electrolit, se numește efect fotogalvanic.

Din aceste fenomene, efectul fotogalvanic a fost descoperit primul (1839); în 1873 a fost descoperit efectul fotoelectric intern la metaloidul seleniu. Efectul fotoelectric extern a fost descoperit în 1887 de Hertz, pe cînd făcea experiențe cu unde electromagnetice.

Hertz a observat că scînteia care se producea în receptorul său, și care arăta existența oscilațiilor electrice în circuitul de descărcare, trece mai ușor cînd pe intervalul de descărcare cade lumina scînteilor produse în circuitul generator. Hertz a emis ipoteza că acest efect se datorește radiației ultraviolete a luminii date de scînteia electrică, radiație care cade pe catodul circuitului de descărcare.

Hallwachs a studiat, cu începere din 1888, acest efect la circuitele de înaltă tensiune.

1. EXPERIENȚELE LUI STOLETOV

În același timp, la Universitatea din Moscova, profesorul A. G. Stoletov a început un studiu amănunțit al efectului fotoelectric; trecînd de la tensiunile înalte, la care experimentase Hallwachs, la tensiuni joase (de la 20 la cîteva sute de volți), el a arătat că nu sînt necesare cîmpuri electrice intense pentru producerea efectului fotoelectric. Stoletov a înlocuit radiația scînteilor electrice cu cea a unui arc electric puternic, și a construit un aparat format din doi electrozi de metal, care dau un curent electric în aer, atunci cînd se proiectează lumină asupra catodului. Aparatul este cunoscut în dezvoltarea fotoelectricității sub numele de condensatorul lui Stoletov.

Experiențele lui Stoletov au decurs în modul următor: sub acțiunea luminii unui arc electric, o placă de zinc bine curățită emite particule încărcate negativ (fig. 482). Aparatul este alcătuit dintr-o placă de zinc lustruită și dintr-un grătar de sîrmă subțire, prin care razele de lumină

ale arcului electric cad pe placă. Între placă și grătar se creează o diferență de potențial cu ajutorul unei baterii electrice, astfel încât placa să fie încărcată negativ și grătarul pozitiv.

Sub influența luminii, placa de zinc își pierde sarcina electrică, iar circuitul, ce era întrerupt din cauza aerului, care este dielectric, se închide; curentul circulă și este identificat cu ajutorul galvanometrului intercalat în circuit.

Stoletov a numit fenomenul *efect actinoelectric*, și a explicat trecerea curentului prin aer admitând

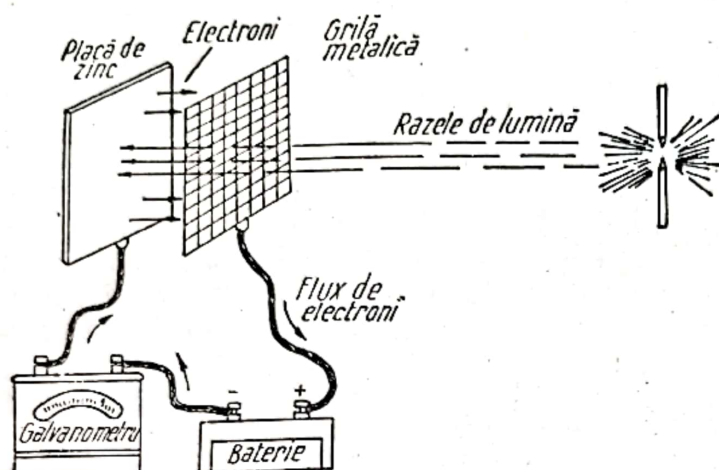


Fig. 482 — Elementul fotoelectric al lui Stoletov.

că particule mici de electricitate negativă, atomi de electricitate, sunt smulse de lumina arcului electric și atrase de grătarul pozitiv; în consecință, prin circuitul format din polul negativ al bateriei, galvanometru, placă, aer, grătar și polul pozitiv al bateriei trece un flux de sarcini negative în sensul contrar sensului convențional al curentului electric. Am arătat că Stoney avea să numească „elec-

troni“, în 1897, acești „atomi de electricitate“.

Fenomenul studiat de Stoletov este numit în prezent efect fotoelectric sau fotoefect, și a fost aprofundat, studiat și aplicat treptat prin munca a numeroși oameni de știință.

2. LEGILE EFECTULUI FOTOELECTRIC

Prin cercetări numeroase, Stoletov a descoperit că efectul fotoelectric este condus de următoarele legi:

- a) corpul își pierde sarcina electrică numai dacă este încărcat negativ și nu o pierde dacă este încărcat pozitiv;
- b) efectul este produs îndeosebi de razele ultraviolete;
- c) efectul de descărcare produs de raze este proporțional cu energia lor;
- d) efectul de descărcare datorit razelor de lumină se manifestă imediat ce se face iluminarea, timpul care trece între momentul iluminării și începutul descărcării nefiind suficient de mare pentru a fi observat.

Pentru a elimina acțiunea moleculelor de aer, Stoletov a continuat experiențele în vid. Metoda a fost folosită și de alți cercetători.

Schema de principiu a instalației pentru obținerea efectului fotoelectric este redată în fig. 483. Catodul C primește o radiație ultravioletă printr-o fereastră de cuarț O . Diferența de potențial $V_1 - V_2$ creată între catodul C și anodul A se măsoară cu ajutorul voltmetrului V .

Cît timp dispozitivul nu este iradiat, galvanometrul nu arată trecerea curentului. De îndată ce catodul C primește radiațiile ultraviolete, ia naștere între electrozi un curent pe care-l măsurăm cu galvanometrul. Acest curent este produs de particulele încărcate negativ, smulse din placa iluminată. Fenomenul se observă cu plăci catodice de orice metal. Rezultatele tuturor experimentărilor au dus la presupunerea că aceste particule smulse sînt electroni.

Faptul a fost pus în evidență de fizicianul sovietic A. F. Ioffe, prin experiențe frumoase și concludente de efect fotoelectric la pulberi metalice. Particulele microscopice de metal, obținute prin pulverizarea electrozilor între care s-a produs un arc electric, se introduc între plăcile unui condensator care are diferența de potențial între armături astfel aleasă încât o particulă din această pulbere să rămână în echilibru între armături, în câmpul de vizibilitate al unui microscop, cu care se fac observațiile. Prin iluminarea particulei cu un fascicul slab de raze ultraviolete, particula își modifică treptat sarcina, iese din poziția sa de echilibru și începe să se deplaseze spre placa negativă a condensatorului; deci, ea și-a pierdut sarcina negativă. Dacă se alege o diferență de potențial corespunzătoare, particula poate fi din nou adusă în câmpul microscopului.

Cunoscând valorile potențialelor de echilibru, s-a putut calcula valoarea sarcinii pe care o pierde particula de fiecare dată. S-a constatat astfel că această sarcină reprezintă totdeauna un multiplu întreg al sarcinii e a electronului.

În formularea actuală, *legile efectului fotoelectric* sînt următoarele:

a) Pentru o radiație monocromatică incidentă, intensitatea curentului fotoelectric este proporțională cu intensitatea acestei lumini și deci cu fluxul de energie luminoasă;

b) Viteza inițială a electronului emis este mică și ia valori de la zero pînă la un maximum, care nu depinde de intensitatea luminii incidente și nici de temperatură, ci numai de frecvența luminii incidente și de natura metalului.

c) Pentru un metal dat, lovit de o radiație monocromatică de intensitate dată, intensitatea curentului fotoelectric variază cu frecvența acestei radiații; ea descrește repede pe măsură ce frecvența descrește, și se anulează printr-o anumită lungime de undă maximă λ_0 , care corespunde frecvenței minime ν_0 necesare emisiunii. Lungimea de undă maximă λ_0 și frecvența minimă ν_0 caracterizează pragul fotoelectric al fiecărei substanțe care alcătuiește catodul. Pentru metalele alcaline, pragul fotoelectric se află în roșu și infraroșu, așa că aceste metale sînt îndeosebi sensibile la acțiunea luminii.

Din punct de vedere ondulator, clasic, se încerca să se explice efectul fotoelectric prin faptul că unda electromagnetică incidentă produce oscilațiile electronilor din metal; dacă aceste oscilații sînt în rezonanță cu cele incidente, amplitudinea de oscilație a electronului devine atît de mare, încît el poate fi smuls de pe suprafața metalului. Potrivit acestei explicații, energia cinetică cu care electronul părăsește metalul trebuie să provină din unda incidentă, și deci să fie în raport direct cu intensitatea luminii incidente. Experiențe numeroase au arătat însă că energia fotoelectronilor nu depinde de loc de intensitatea luminii.

După cum reiese din legile efectului fotoelectric, mărirea intensității luminii mărește numai numărul de fotoelectroni, și anume cu cantități riguros proporționale cu intensitatea, dar nu mărește și viteza, adică energia lor. Viteza electronilor depinde numai de frecvența luminii incidente, și anume energia fotoelectronilor crește liniar cu mărirea frecvenței.

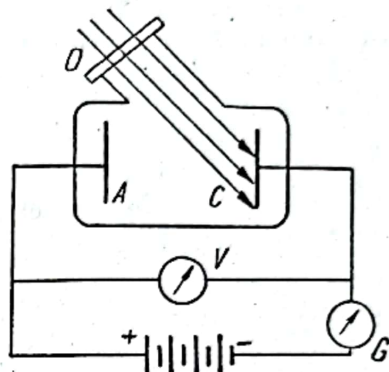


Fig. 483 — Schema obținerii efectului fotoelectric.

Faptul a fost pus în evidență de fizicianul sovietic A. F. Ioffe, prin experiențe frumoase și concludente de efect fotoelectric la pulberi metalice. Particulele microscopice de metal, obținute prin pulverizarea electrozilor între care s-a produs un arc electric, se introduc între plăcile unui condensator care are diferența de potențial între armături astfel aleasă încât o particulă din această pulbere să rămână în echilibru între armături, în câmpul de vizibilitate al unui microscop, cu care se fac observațiile. Prin iluminarea particulei cu un fascicul slab de raze ultraviolete, particula își modifică treptat sarcina, iese din poziția sa de echilibru și începe să se deplaseze spre placa negativă a condensatorului; deci, ea și-a pierdut sarcina negativă. Dacă se alege o diferență de potențial corespunzătoare, particula poate fi din nou adusă în câmpul microscopului.

Cunoscând valorile potențialelor de echilibru, s-a putut calcula valoarea sarcinii pe care o pierde particula de fiecare dată. S-a constatat astfel că această sarcină reprezintă totdeauna un multiplu întreg al sarcinii e a electronului.

În formularea actuală, *legile efectului fotoelectric* sînt următoarele:

a) Pentru o radiație monocromatică incidentă, intensitatea curentului fotoelectric este proporțională cu intensitatea acestei lumini și deci cu fluxul de energie luminoasă;

b) Viteza inițială a electronului emis este mică și ia valori de la zero pînă la un maximum; care nu depinde de intensitatea luminii incidente și nici de temperatură, ci numai de frecvența luminii incidente și de natura metalului.

c) Pentru un metal dat, lovit de o radiație monocromatică de intensitate dată, intensitatea curentului fotoelectric variază cu frecvența acestei radiații; ea scade repede pe măsură ce frecvența scade, și se anulează printr-o anumită lungime de undă maximă λ_0 , care corespunde frecvenței minime ν_0 necesare emisiunii. Lungimea de undă maximă λ_0 și frecvența minimă ν_0 caracterizează pragul fotoelectric al fiecărei substanțe care alcătuiește catodul. Pentru metalele alcaline, pragul fotoelectric se află în roșu și infraroșu, așa că aceste metale sînt deosebi sensibile la acțiunea luminii.

Din punct de vedere ondulator, clasic, se încerca să se explice efectul fotoelectric prin faptul că unda electromagnetică incidentă produce oscilațiile electronilor din metal; dacă aceste oscilații sînt în rezonanță cu cele incidente, amplitudinea de oscilație a electronului devine atît de mare, încît el poate fi smuls de pe suprafața metalului. Potrivit acestei explicații, energia cinetică cu care electronul părăsește metalul trebuie să provină din unda incidentă, și deci să fie în raport direct cu intensitatea luminii incidente. Experiențe numeroase au arătat însă că energia fotoelectronilor nu depinde de loc de intensitatea luminii.

După cum reiese din legile efectului fotoelectric, mărirea intensității luminii mărește numai numărul de fotoelectroni, și anume cu cantități riguros proporționale cu intensitatea, dar nu mărește și viteza, adică energia lor. Viteza electronilor depinde numai de frecvența luminii incidente, și anume energia fotoelectronilor crește liniar cu mărirea frecvenței.

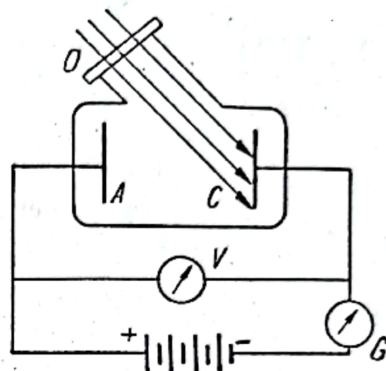


Fig. 483 — Schema obținerii efectului fotoelectric.

Din punctul de vedere al teoriei ondulatorii clasice, explicația acestei dependențe și a altor neconcordanțe este imposibilă.

Einstein a arătat, în 1905, că toate dificultățile dispar și că toate legile de bază ale efectului fotoelectric se explică ușor dacă se consideră că lumina este absorbită în aceleași cantități discontinue $\epsilon = h\nu$, în care, după ipoteza lui Planck, ea este emisă. Dependența liniară a energiei cinetice a fotoelectronilor de frecvență ν rezultă direct din ipoteza absorbției luminii.

Din punctul de vedere al teoriei corpusculare, reprezentarea calitativă a mecanismului efectului fotoelectric este următoarea: fotonul, o dată absorbit, cedează energia sa unui electron; acesta poate părăsi suprafața metalului numai dacă energia ce i s-a dat este suficientă. În aceste condiții, numărul de fotoelectroni eliberați trebuie să fie proporțional cu numărul fotonilor absorbiți, adică proporțional cu intensitatea luminii (legea I).

Dependența liniară a energiei cinetice a fotoelectronului de energia fotonului reiese de asemenea din expresia $\epsilon = h\nu$; aceasta reprezentând energia fotonului, urmează că energia fotoelectronului trebuie să varieze și ea liniar cu frecvența și că nu depinde de loc de intensitate, adică de numărul de fotoni (legea a II-a).

Bilanțul general energetic pentru absorbirea fotonilor poate fi exprimat în modul cel mai general prin următoarea ecuație a lui Einstein.

$$h\nu = P_1 + P_2 + eV,$$

unde P_1 este energia de extracție a electronului din atom, P_2 = lucrul de extracție al electronului din suprafața corpului, numit și lucru de ieșire, iar eV = energia cinetică a fotoelectronului emis.

În ce privește legea a III-a a efectului fotoelectric, proporționalitatea dintre intensitatea curentului de saturație I_s și energia luminii incidente se explică prin faptul că la creșterea energiei totale W a fluxului luminos crește numărul de cuante de energie $\epsilon = h\nu$, și prin urmare numărul n de electroni smulși în unitatea de timp. Curentul de saturație I_s , fiind proporțional cu ν , este proporțional și cu energia W a luminii.

B. CELULA FOTOELECTRICĂ

Cea mai importantă aplicație a efectului fotoelectric este celula fotoelectrică, în numeroasele ei construcții și întrebuințări. În prezent se construiesc mai multe tipuri de celule fotoelectrice: celule cu efect fotoelectric extern, cu fotoeffect intern, cu efect fotoelectric de baraj.

Celula fotoelectrică este un dispozitiv foarte sensibil, care poate înregistra cu foarte mare precizie și cu o inerție minimă, deci aproape instantaneu, variații foarte slabe de intensitate ale radiațiilor, nu numai din spectrul vizibil, dar și din cel invizibil.

1. CELULA FOTOELECTRICĂ CU EFECT EXTERN

a) **Celula cu vid.** Cel mai simplu tip de celulă fotoelectrică cu efect extern este cel redat schematic în fig. 484.

Această celulă este formată dintr-un balon de sticlă de mărimea unei lămpi electrice cu incandescență, de formă sferică sau cilindro-sferică, al cărei perete este acoperit în interior, aproape pe jumătate din suprafața sa, cu un strat fotosensibil, de obicei de metal alcalin: potasiu, cesiu, ori de aliaj de potasiu-cesiu, adesea de antimoniu-cesiu, de cadmiu etc. Restul

peretelui este argintat pe dinăuntru, afară de o mică ferăstruică lăsată transparentă în partea opusă păturii fotosensibile. Stratul fotosensibil constituie catodul fotocelulei; anodul este de wolfram și are formă de inel, pentru a nu împiedica trecerea razelor de lumină spre catod. Dacă între catod și anod, se conectează în circuitul exterior un galvanometru foarte sensibil, se observă că, imediat ce cade lumina pe catod, galvanometrul arată trecerea unui curent electric. Celula fotoelectrică este deci un element electric, la fel ca elementele galvanice sau ca termoelementele. Ea transformă energia luminoasă în energie electrică. Electronii smulși de fotoni din catod se îndreaptă prin vidul celulei spre inelul de wolfram și închid astfel circuitul, făcând să circule curentul fotoelectric.

Se constată însă că acest curent este slab, deoarece electronii care ies din catod se adună ca un nor în fața acestuia și numai o mică parte pornește spre anod, din cauza respingerii lor de către catod. Pentru a înlesni atragerea electronilor către anod trebuie să aplicăm o tensiune celor doi electrozi, adică să conectăm electrozii celulei fotoelectrice de electrozii de același semn ai unei baterii electrice.

Anodul, fiind încărcat pozitiv, va atrage electronii scoși din catod de radiațiile luminoase, și astfel curentul va fi mult mai puternic. Se constată că, dacă potențialul anodului este zero, nu ajung pe anod decât puțini electroni, și anume numai cei mai rapizi; ei produc în circuit un curent fotoelectric foarte slab. Pe măsură ce potențialul anodic crește, se mărește și forța de atracție față de electroni, așa că pe anod va ajunge un număr din ce în ce mai mare de electroni, și deci curentul va fi din ce în ce mai mare. Curba din fig. 485 reprezintă variația curentului fotoelectric în funcție de tensiunea bateriei din circuit: la începutul curbei, curentul fotoelectric crește mult pentru valori mici ale potențialului anodic, adică panta curbei este mare. Apoi, la tensiunea de câteva zeci de

volți, curentul nu mai crește, curba capătă o pantă mică. La un moment dat, oricât am mai mărit tensiunea, intensitatea curentului rămâne aproape constantă. Am atins astfel regiunea de „saturație” în care toți electronii extrași din catod de fluxul luminos ajung pe anod. În funcționarea elementului fotoelectric se alege totdeauna astfel tensiunea anodică încât elementul să lucreze în regiunea de

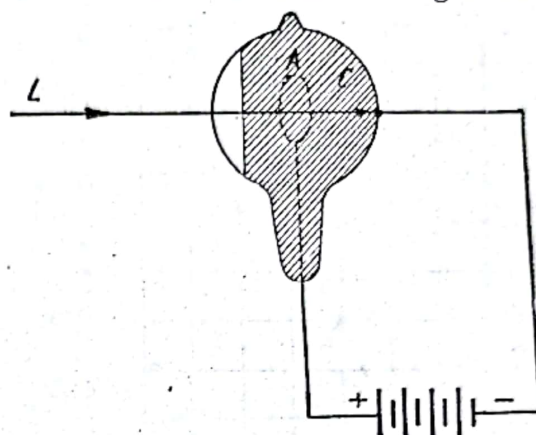


Fig. 484 — Celula fotoelectrică cu vid.

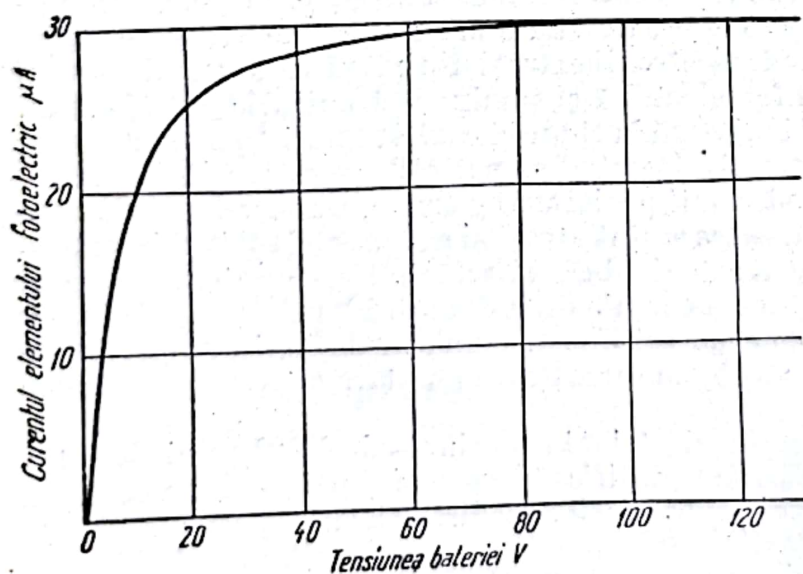


Fig. 485 — Variația curentului fotoelectric în funcție de tensiunea bateriei anodice din circuit.

saturație, fiindcă în acest caz curentul produs de elementul fotoelectric nu depinde de eventualele mici variații de tensiune ale bateriei electrice sau ale generatorului de curent continuu, ci este determinat numai de fluxul luminos care cade pe catod.

Cea mai importantă dintre proprietățile celulelor fotoelectrice cu vid este aceea că ele dau un curent fotoelectric de intensitate riguros proporțională cu fluxul luminos care cade pe catod. Fig. 486 arată că variația curentului fotoelectric este proporțională cu fluxul luminos (variația este liniară:

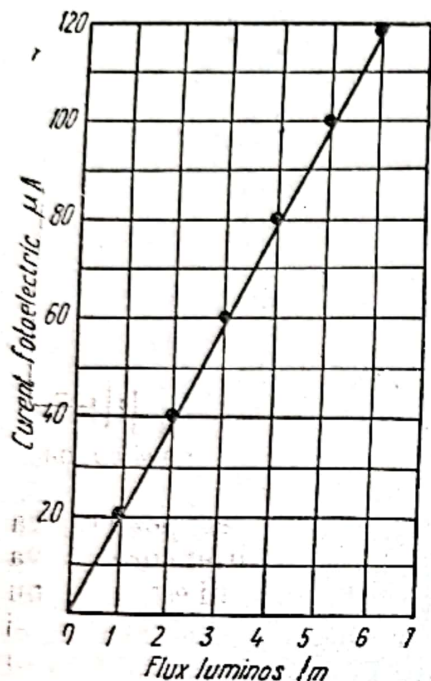


Fig. 486 — Variația curentului fotoelectric în funcție de fluxul luminos care cade pe fotoelement.

pentru un flux de 3 lm obținem un curent de 60 microamperi, pentru 6 lm 120 microamperi etc.). Această proprietate oferă posibilitatea întrebuințării elementelor fotoelectrice cu vid pentru măsurarea fluxului luminos și a iluminării, în fotometrie, pentru determinări colorimetrice etc.

O altă proprietate importantă a celulei fotoelectrice cu vid este lipsa practică de inerție. Intervalul de timp dintre momentul iluminării suprafeței fotoemitive și momentul emisiunii electronice este foarte scurt (a miliarde parte dintr-o secundă). Trecerea electronului de la catod la anod cere și ea un timp foarte scurt. Astfel, sub acțiunea cîmpului electric creat de baterie în circuitul fotocelulei, electronii capătă viteze foarte mari. Dacă tensiunea este de exemplu de 110 V, iar distanța dintre catodul fotosensibil și inelul anodic de wolfram este de 10 mm, timpul necesar electronului pentru a ajunge pe anod este mai mic decît a miliarde parte dintr-o secundă. Se poate considera deci că celula fotoelectrică lucrează practic fără inerție. Datorită lipsei de inerție, elementele fotoelectrice

cu vid sînt sensibile și la schimbarea rapidă a intensității luminii incidente.

b) **Celula cu gaz inert.** Uneori celula fotoelectrică cu vid suferă o modificare în construcție: i se introduce o cantitate mică de gaz inert (de exemplu argon). În drumul spre anod, electronii extrași din catod se lovesc de atomii gazului care umple celula fotoelectrică și smulg electronii din acești atomi. Acești electroni secundari ionizează la rîndul lor alți atomi. În modul acesta, de fiecare electron primar emis de catod se pot elibera cîțiva electroni secundari, care ajung pe anod. Ioni pozitivi ai gazului, rămași după plecarea electronilor, lovesc catodul de care sînt atrași și extrag alți electroni, reluîndu-și sarcina electrică negativă pierdută și refăcînd astfel atomii de gaz. La o valoare constantă și bine determinată a fluxului luminos și a tensiunii bateriei anodice se stabilește un echilibru, numărul de ioni produși într-o secundă fiind egal cu numărul ionilor care dispar într-o secundă, refăcînd atomii de gaz.

Studiînd fenomenul „actinoelectric” la presiunea de 0,002 torri, Stoletov a obținut un curent fotoelectric amplificat, care trece printr-un maximum. Acest efect, folosit în prezent sub diferite modificări, a fost numit „efectul Stoletov”.

La celulele fotoelectrice cu gaz, proporționalitatea nu este modificată între intensitatea curentului și fluxul luminos. Curentul fotoelectric obținut

cu ajutorul gazului crește cu tensiunea fără ca să apară fenomenul de saturație, întâlnit la celulele fotoelectrice cu vid. Pentru o valoare anumită a tensiunii anodice, curentul crește independent de iluminare și spațiul din jurul anodului devine luminos. Tensiunea critică la care apare acest fenomen nedorit se numește *tensiunea de aprindere*. După aprinderea celulei fotoelectrice, curentul crește brusc și nu se mai întrerupe chiar dacă ținem celula în întuneric. Celula nu mai este fotosensibilă.

Celulele fotoelectrice cu gaz se utilizează ca relee electrice de comandă, care acționează la primul impuls luminos primit.

2. CELULA FOTOELECTRICĂ CU EFECT INTERN

În afară de fotocelulele cu efect extern, se mai întrebuintează și celulele cu efect intern. Acest efect constă în eliberarea unor electroni suplimentari, de conductibilitate, dintr-un semiconductor, sub acțiunea luminii.

Electronii suplimentari rămân în interiorul substanței semiconductoare, mărindu-i conductibilitatea electrică. Un exemplu de creștere mare a conductibilității electrice prin iluminare (și micșorarea corespunzătoare a rezistenței electrice) îl oferă seleniul, metaloid din familia oxigenului și asemănător în însușiri cu sulfurul.

Celula cu efect intern funcționează numai intercalată într-un circuit. Ea are o sensibilitate foarte mare, putând produce o variație a curentului din circuit de sute și chiar mii de microamperi pe lumen.

3. CELULA FOTOELECTRICĂ CU STRAT DE BLOCARE

Din seleniu, oxid cupros, telur, sulfură de argint și alți semiconductori se fabrică celule fotoelectrice cu strat de blocare (de baraj). Aceste fotocelule funcționează ca fotoelemente, fără alte izvoare exterioare care să le alimenteze în curent continuu (baterie, acumulator, rețea).

a) **Fotoelementul cu oxid cupros (cuproxid).** Un tip de celulă cu strat de blocare este celula cu oxid cupros. Construcția ei reiese din schema redată în fig. 487. Pe placa de cupru A , care constituie unul din electrozii fotoelementului, se aplică un strat subțire de oxid cupros Cu_2O . Peste acesta se depune un strat de aur B , foarte subțire, astfel încît să fie transparent pentru lumină; acest strat servește drept al doilea electrod. Unind cei doi electrozi cu un conductor și iluminînd stratul de oxid cupros prin stratul-electrod transparent de aur, apare în aparat un curent electric, care circulă de la cupru spre oxidul cupros. Funcționarea celulei se datorește faptului că, sub acțiunea luminii, se pun în libertate, în stratul de Cu_2O , fotoelectroni. Stratul de contact dintre Cu și Cu_2O se numește strat de blocare sau strat de baraj (uneori strat-barieră sau strat de închidere); el are conductibilitatea unilaterală, așa cum am văzut și la studiul redresorilor de curent. Acest strat permite electronilor să treacă numai în sensul $Cu_2O \rightarrow Cu$. Electronii eliberați se mișcă într-un singur sens și creează în circuit curentul fotoelectric.

b) Celula cu seleniu este de asemenea un fotoelement. Ea se compune dintr-o placă de oțel acoperită cu un strat subțire de seleniu, peste care este depus — ca și la fotoelementul cu cuproxid — un strat foarte subțire, transparent, de aur sau

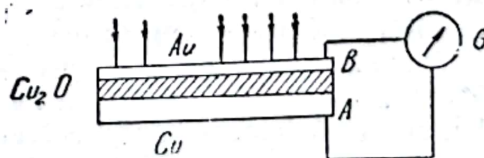


Fig. 487 — Fotocelula cu cuproxid.

de platină (fig. 488). Placa de oțel și stratul străveziu de platină constituie cei doi electrozi, iar stratul de contact dintre oțel și seleniu este stratul de blocare, dispozitiv cu conductibilitate unilaterală. Când seleniul primește fotoni, prin stratul străveziu de platină, el emite electroni, care trec în oțel; astfel ia naștere un curent electric, care circulă numai în sensul oțel $\rightarrow$ platină.

Atit fotoelementul cu oxid cupros, cit și cel cu seleniu, dînd curent electric fără ajutorul unei tensiuni aplicate din exterior, sînt folosite pe scară întinsă pentru aparate portative cum sînt fotometrele, colorimetrele, spectrofotometrele. Cu aceste fotoelemente se construiesc aparate fotometrice:

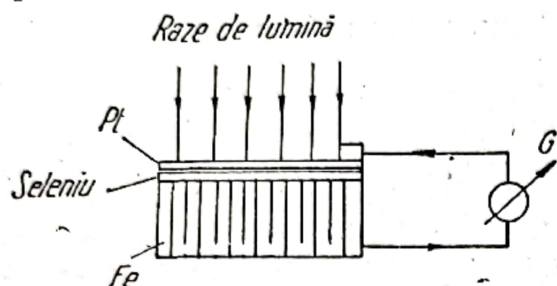


Fig. 488 — Fotocelula cu seleniu.

obiective, numite luxmetre și lumenmetre. Luxmetrele fotoelectrice au scara gradată în lăuși, prin etalonare; ele permit măsuraea iluminării în mod direct, fără calcule.

Pentru controlul unui iluminat igienic, pentru a măsura iluminarea în halele de montaje fine din uzine, în sălile de curs, de spectacole, de desen, pentru iluminarea obiectelor

în fotografie și cinematografie, se utilizează fotometrul fotoelectric cu seleniu; acest fotometru este înzestrat de multe ori cu filtre de lumină sau cu rezistențe, care se introduc în circuit, în funcție de valoarea iluminării. Aceste celule mai sînt întrebuintate și ca exponometre la fotografierea și luarea vederilor cinematografice și de televiziune, timpul necesar expunerii fiind invers proporțional cu iluminarea obiectului.

Sensibilitatea celulelor fotoelectrice cu strat de blocare poate atinge 300—5 000 microamperi pe lumen. În ce privește frecvența, unele celule fotoelectrice, cum sînt cele cu seleniu-plumb și cu telur-plumb, permit sezișarea radiațiilor cu lungime de undă de 55 000 Å.

Randamentul acestor celule nu depășește însă, pentru motivele arătate la începutul acestui capitol, 2%. Pentru măsurătorile de precizie, fotocelulele cu semiconductori sînt mai puțin potrivite decît cele cu vid, pentru că ele nu asigură o proporționalitate riguroasă între intensitatea curentului fotoelectric și fluxul luminos incident, și pentru că sînt mai puțin constante decît cele cu vid sau cu gaz.

4. SENSIBILITATEA CELULELOR FOTOELECTRICE

Elementele fotoelectrice nu au toate aceeași sensibilitate. Cu cit intensitatea curentului furnizat de elementul fotoelectric este mai mare pentru un același flux luminos, cu atit elementul fotoelectric este considerat mai sensibil. Am văzut mai înainte că sensibilitatea elementelor fotoelectrice se măsoară în microamperi (milionimi de amper) pe unitatea de flux luminos (lumen). Trebuie să mai arătăm că se deosebesc două categorii de sensibilitate: sensibilitatea generală (integrală) și sensibilitatea spectrală (față de diferitele culori — lungimi de undă).

Sensibilitatea generală a fotoelementelor cu vid depinde de proprietățile metalului fotoemisiv și de felul cum este lucrată suprafața catodului metalic. Pentru aceste elemente, caracteristica spectrală este tot atit de importantă. Experiența arată că litiul prezintă un maximum de selectivitate în regiunea ultravioletă a spectrului; urmează sodiul, care are maximul în violet



(fig. 489) la 4 200 Å, potasiul care are maximul în 4 400 Å, rubidiul în 5 100 Å și cesiul în 5 300 Å. Cesiul prezintă deci avantajul că aproape toată curba sensibilității sale se găsește în regiunea vizibilă, așa că sensibilitatea generală a elementului fotoelectric cu cesiu față de lumina albă (lampa electrică cu incandescență, cu filament de wolfram) va fi mai mare decât a altor celule fotoelectrice. Celulele cu sodiu și potasiu sînt mai sensibile decât cele cu cesiu dacă sursa de lumină este mai bogată în raze albastre

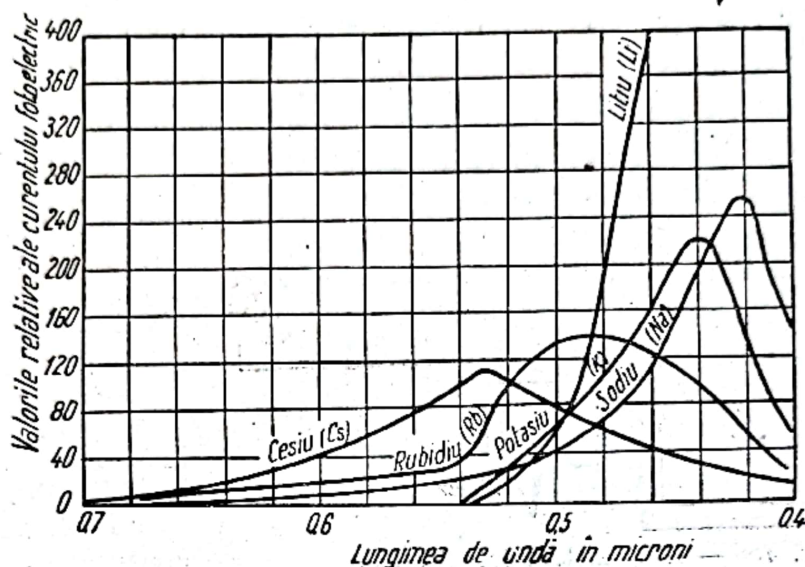


Fig. 489 — Caracteristicile spectrale ale fotoelementelor cu diferite metale.

și violet (de exemplu, lumina difuză a zilei), iar celula cu litiu este mai indicată pentru lumina ultravioletă.

Reamintim aici cele arătate la expunerea legilor efectului fotoelectric, și anume că există o legătură între energia cuantei de lumină care cade pe fotocathod și energia cu care electronul ce trebuie expulzat din metal este ținut în nucleu (nivelul de energie pe care se află electronul smuls din catod). Cesiul emite electroni mai ușor sub acțiunea luminii decât rubidiul, fiindcă electronii cesiului se află pe niveluri de energie mai depărtate. Pentru eliberarea unor electroni din aluminiu este necesară o energie importantă, pe care o dau numai cuantele de lumină ultravioletă.

Lungimea maximă de undă λ_0 la care începe emisiunea de electroni din atomi se numește *prag fotoelectric*. Aluminiul, fierul, cuprul, plumbul nu pot fi întrebuințate pentru elemente fotoelectrice sensibile în spectrul vizibil, fiindcă pragul lor fotoelectric se află în ultraviolet, așa că razele vizibile, care au lungime de undă mai mare decât razele ultraviolete, nu vor putea smulge electronii din aceste metale. Metalele alcaline au pragul fotoelectric în regiunea vizibilă, iar cesiul în regiunea infraroșie a spectrului. De aceea, la fabricarea celulelor fotoelectrice se întrebuințează de cele mai multe ori metalele alcaline, fie singure, fie în aliaje potrivite.

Cu cât pragul fotoelectric este împins mai mult în regiunea undelor lungi, cu atât mai mic este lucrul mecanic de extragere a electronilor din stratul metalic. Cel mai mic lucru de extragere îl au metalele alcaline. Faptul este în legătură — cum am arătat — cu structura atomică a metalelor acestei grupe: ele cedează ușor electroni, așa cum arată și însușirile lor chimice (au afinitate deosebit de mare).

5. APLICAȚIILE CELULEI FOTOELECTRICE

Celulele fotoelectrice sînt utilizate în fotometrie, colorimetrie, cinematografie, pentru reproducerea sunetelor de pe film, în televiziune. Sînt întrebuințate în securitate pentru a semnaliza trecerea unui obiect sau a unor persoane, în procesele tehnologice pentru numărarea produselor și pentru selecționarea lor. Se construiesc dispozitive care semnalează apariția fumului, deci a unui început de incendiu, opacitatea mediului întrerupînd un fotocurent și făcînd să acționeze, printr-un releu fotoelectric, un semnal de alarmă sau un dispozitiv de stingere.

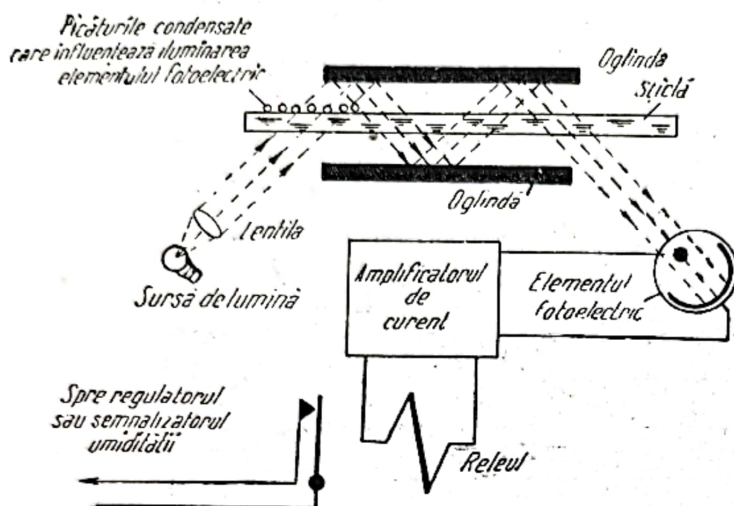


Fig. 490 — Higrometrul fotoelectric.

În industrie, numeroase dispozitive de protecția muncii utilizează celule fotoelectrice care declanșează relee ce îndepărtează mina muncitorului intrată într-o regiune primejdioasă.

Celulele fotoelectrice servesc la fotografierea, zborul și aterizarea fără vizibilitate.

În domeniile care au contingentă cu medicina, celulele fotoelectrice

servesc în fotometrie, la măsurarea iluminării mediului de muncă, la măsurarea intensității fasciculelor de raze ultraviolete sau raze X, în colorimetria obiectivă (colorimetrul de tip Duboscq cu două fotocelule), la determinarea colorimetrică a proteinelor separate prin electroforeză pe hîrtie de filtru; în climatologie, ele permit studiul variației intensității luminii zilei și al gradului de transparență a atmosferei (fig. 490). Se instalează releu fotoelectrice pentru aprinderea și stingerea automată a luminilor unei instituții sau ale unei localități, de îndată cîs-a ajuns la o anumită luminozitate naturală.

III. LUMINISCENȚA

A. FENOMENUL DE LUMINISCENȚĂ

Sub denumirea de fenomene luminiscente sînt cuprinse fenomenele de emisiune a luminii care nu au origine termică, ci sînt produse sub acțiunea radiației unei surse exterioare. Atomii sau moleculele trec din starea normală într-o stare energetică superioară, numită stare de *excitație*, după care urmează o emisiune luminoasă prin revenirea particulei excitate la starea normală. Această excitație sau activare se poate realiza pe căi care în practică sînt diferite, dar care au toate ca efect aducerea atomilor ce dau luminiscență într-o stare de echilibru nestabil, de excitație.

Aplicînd ipoteza propusă de Planck pentru emisiunea corpului negru, în cantități discrete de energie, a căror mărime am arătat că depinde de frecvența ν a radiației emise, Bohr a extins ipoteza la atomii vaporilor și gazelor care emit lumină, admițînd că actul elementar de emisiune constă în pierderea unei cantități de energie ϵ sub formă de lumină monocromatică de frecvența ν .

După cum am arătat la capitolul despre structura atomului, Bohr, bazat pe experiență, a presupus că fiecare atom poate să aibă numai un anumit șir discontinuu de stări stabile, numite stări staționare, când el nu emite radiații. Emisia are loc numai la trecerea atomului de la o stare staționară la alta. În mod normal, atomul se găsește în starea staționară caracterizată prin energia cea mai mică. Dacă din cauza unei perturbări energetice exterioare oarecare atomul este adus într-o altă stare staționară cu energie mai mare și revine ulterior la starea inițială, el restituie energia primită și emite lumină. Diferitele experiențe făcute în decursul dezvoltării acestor concepții au verificat ipoteza lui Bohr.

Redată schematic, experiența următoare explică sub formă intuitivă apariția luminiscentei într-un tub cu descărcare electrică în gaz rarefiat. Într-un tub cu doi electrozi, conținând o cantitate foarte mică de gaz și conectat într-un circuit de curent continuu, de tensiune convenabilă, se trece un curent electric. Electronii liberi (aflați în tub din razele cosmice, radiații radioactive sau din acțiunea catodului asupra atomilor de gaz) sînt respinși de către catod. În drumul lor spre anod, electronii se ciocnesc de atomii gazului pe care-i întilnesc în cale. Putem considera schematic electronii avînd trei feluri de energie.

a) Cît timp energia eV a electronului este atît de mică încît acesta nu poate aduce atomul de gaz cu care se ciocnește, din starea normală în starea excitată, ciocnirea este elastică, fiecare particulă urmîndu-și drumulei.

b) Dacă energia electronului are valoare mijlocie, el va excita atomul de care se lovește, transmițînd energia sa unui electron de pe o orbită periferică, și îl va depărta; de îndată ce acest electron al atomului va reveni, fiind atras de nucleu, el va elibera energia primită și astfel va apărea radiația luminiscentă.

c) În cazul al treilea, cînd energia electronului liber este mai mare, ciocnirea cu atomul scoate din acesta, definitiv, un electron, și astfel atomul devine ion, gazul se ionizează.

În cazul energiei mijlocii, care interesează mai mult în producerea fenomenului de luminiscentă, atomul va emite aceeași energie eV , sub forma unei radiații de frecvență ν care are valoarea:

$$\nu = \frac{eV}{h}$$

sau de lungime de undă λ , a cărei valoare este dată de expresia:

$$\lambda = \frac{ch}{eV},$$

unde c este viteza luminii.

Valorile numerice ale lui h , c și e fiind cunoscute și exprimînd pe λ în angströmi, obținem o relație foarte simplă care permite calcularea lungimii de undă a luminii emise, cunoscînd tensiunea V (în volți) dintre catodul și anodul aparatului cu care lucrăm:

$$\lambda = \frac{12\,340}{V} \text{ \AA}.$$

Cum emisiunea luminoasă nu apare decît pentru o anumită valoare a energiei electronului, deci a potențialului accelerator V , aceasta se numește potențial critic sau *potențial de rezonanță*.

Rezonanța, pe care am mai întâlnit-o în diferitele capitole ale cărții de față, a fost studiată în domeniul luminiscentei de către Wood; aceasta a arătat că vaporii de sodiu, iluminați cu o radiație a cărei frecvență coincide cu frecvența liniei spectrale galbene a sodiului, încep să emită o radiație luminoasă, care conține aceeași linie galbenă a sodiului și care a fost numită radiația de rezonanță a sodiului.

Pentru a scoate în evidență deosebirea dintre luminiscentă și alte tipuri de emisiune, S. I. Vavilov a descris complet proprietățile specifice ale luminiscentei. În general, radiațiile luminescente au altă lungime de undă decât lumina excitatoare. Luminiscenta are o durată finită mai mare sau mai mică, dar în tot cazul mai mare decât perioada oscilației excitatoare ($T \approx 10^{-15}$ s). În fine, luminiscenta este mai strălucitoare decât radiația emisă de corpul negru la aceeași temperatură.

B. LUMINISCENȚA TEMPORARĂ

După durata fenomenului luminescent, adică după mărimea intervalului dintre încetarea excitației și încetarea fenomenului luminos, luminiscenta poate fi considerată temporară ori de durată. Clasificarea nu este riguroasă din punct de vedere științific, ci are mai mult importanță practică.

Luminiscenta temporară se obține pe mai multe căi, pe care le vom examina în raport cu importanța lor generală și cu interesul pe care-l prezintă pentru cercetarea biologică și medicală.

1. TRIBOLUMINISCENȚA

Printre modalitățile de a furniza energie unor substanțe pentru a le face luminescente este și acțiunea mecanică exercitată asupra rețelei lor cristaline: frecarea, zdrobirea, sfărîmarea, ruperea, spargerea etc. Deși acțiunea mecanică este cea mai simplă formă de a obține luminiscenta unor substanțe, ea a fost mai puțin studiată. Unele substanțe organice cu structură cristalină, cum sînt zahărul, ureea, valerianatul de chinină, veronalul, prezintă prin simplă zdrobire fenomenul de luminiscentă. Zdrobind pe întuneric cristale de zahăr perfect uscate, într-un mojar uscat, se observă fenomenul de triboluminiscentă, care constă în sclipiri albastrii.

Intensitatea luminiscentei produsă pe această cale depinde de natura cristalului, deci de rețeaua cristalină care este zdrobită, ca și de gradul de uscare a cristalelor sfărîmate. Folosind dispozitive perfecționate de zdrobire și observare, fenomenul de triboluminiscentă poate fi folosit ca metodă de control, de exemplu în industria zahărului.

În domeniul rășinilor se obține de asemenea o triboluminiscentă interesantă: astfel, zdrobind într-o cameră obscură o cantitate de rășină sau de gumă uscată, într-un mojar, se observă producerea unei luminiscente. Cum culoarea radiației variază cu natura rășinii, triboluminiscenta poate constitui un prim element de identificare a acestor substanțe.

La substanțele minerale, fenomenul de triboluminiscentă este cunoscut mai de mult și este din cele mai interesante. Astfel, în 1667, Boyle a menționat că anumite diamante devin luminoase în întuneric dacă sînt frecate.

Frecarea unor fragmente mici de feldspat provoacă o lumină vie; dacă se zdrobesc cristalele acestui mineral, fiecare fragment capătă o luminiscentă foarte vie, care persistă cîteva secunde. De asemenea, o varietate de blendă (ZnS) negricioasă emite o luminiscentă portocalie la frecare, zdrobire

sau la simpla zgîriere cu un vîrf de oțel. Diferite varietăți de fluorină manganiferă dau de asemenea triboluminiscență; sulfurile de zinc și de cadmiu dau triboluminiscență portocalie. Frecînd cristalele de calomel cu o baghetă de sticlă, se obține o luminiscență verde.

2. CRISTALOLUMINISCENȚA

Fenomenul de emisiune luminoasă care apare în cursul cristalizării a fost observat la acidul arsenios. Luminiscența care însoțește cristalizarea anumitor substanțe se numește cristalloluminiscență; ea a fost studiată încă la începutul secolului actual, dar abia în ultimele decenii a putut fi aprofundată datorită contorilor de fotoni, care permit înregistrarea emisiunilor luminoase slabe, ca acelea care se produc în cristalizarea prin precipitare a NaCl, KCl, NaBr, NaNO₃ etc.

Ca și fenomenul de triboluminiscență, fenomenul de cristalloluminiscență este datorit rețelei cristaline; de data aceasta intră în acțiune forțele care adună în rețea ionii și care pot deci produce, în condiții date, excitația necesară apariției luminiscenței.

3. TERMOLUMINISCENȚA ȘI CRIOLUMINISCENȚA

Prin încălzirea progresivă și destul de rapidă a anumitor substanțe apare fenomenul de luminiscență cunoscut sub numele de termoluminiscență. Acest fenomen nu trebuie considerat la fel cu fenomenele termice, în care lumina apare prin încălzirea pînă la incandescență sau prin ardere cu flacără.

Încălzind sulfatul de chinină pînă la 180°, această substanță capătă o luminiscență albastră; fenomenul a fost observat și la sulfatul de cinconină și este însoțit de ionizarea aerului din jur.

Diferite minereuri și îndeosebi fluorinele emit de asemenea fluorescență la încălzire, excitația datorindu-se agitației termice a moleculelor, accelerată prin încălzire.

Tot ca termoluminiscență trebuie considerată luminiscența vaporilor diferitelor substanțe volatile în flacără; astfel, compușii sodiului colorează flacăra în galben, ai potasiului în violet, ai stronțului și litiului în roșu, ai bariului și borului în verde, ai calciului în portocaliu etc. Această termoluminiscență este folosită în chimia analitică ca metodă de identificare cu ajutorul flăcării.

Experiența arată că prin răcirea bruscă a unor substanțe se produce de asemenea luminiscență; fenomenul a fost numit crioluminiscență.

4. FOTOLUMINISCENȚA (FLUORESCENȚA)

Fotoluminiscența este unul din fenomenele de luminiscență mai bine studiate și mai bogat în aplicații. Cum arată și denumirea fenomenului, fotoluminiscența este luminiscența provocată prin excitarea atomilor cu ajutorul unor radiații electromagnetice.

Fotoluminiscența temporară se numește curent *fluorescență*. Ea se poate obține cu radiații de diferite lungimi de undă, începînd din lumina vizibilă și pînă la razele cosmice.

a) *Fluorescența în lumina vizibilă* este cunoscută de mult. Însușirea fluorinei CaF₂ de a se prezenta prin transparență (refracție) în culoare galbenă și prin reflecție în culoare verde a atras atenția încă la sfîrșitul

evului mediu, cu prilejul folosirii acestui mineral la cuptoarele de extras fierul din minereu, unde fluorina era adăugată ca fondant. Numele de fluorină i s-a dat tocmai din cauza acestei însușiri de a fluidifica fonta și de a înlesni curgerea ei din furnal. De la numele fluorinei derivă numele de fluorescență dat fenomenelor optice asemănătoare cu cel prezentat de fluorină.

La începutul secolului al XIX-lea, V. V. Petrov a studiat fenomenul de fluorescență și l-a comparat cu luminiscenta licuriciului.

La mijlocul secolului trecut, Stokes a studiat experimental fenomenul. Dacă urmărim schematic experiențele lui Stokes și lucrăm, de exemplu, cu o substanță de fluorescență albastră, constatăm că pe întuneric această substanță nu este fluorescentă; de aci rezultă că numai lumina este cauza fluorescenței. Luminând apoi cu lumini monocromatice: roșu, galben, verde, fluorescența nu apare; abia la iluminarea cu lumină albastră substanța începe a deveni fluorescentă, iar în lumina violetă fluorescența albastră este foarte clară. În 1852, Stokes descoperă astfel legea excitației, lege care-i poartă numele: substanța fluorescentă emite o radiație de lungime de undă mai mare decât lungimea de undă a radiației care a provocat excitația.

Legea lui Stokes poate fi formulată astfel

$$\lambda_{\text{fluor}} > \lambda_{\text{excit.}}$$

De aci rezultă că lumina monocromatică roșie și cu atât mai mult radiațiile infraroșii nu pot provoca fluorescență fiindcă aceasta ar trebui să apară într-o regiune a spectrului care este invizibilă pentru ochiul nostru; din spectrul vizibil, cele mai active radiații sînt, în această privință, radiațiile albastre, indigo și violete.

Legea lui Stokes rezultă direct din reprezentarea fctonică a luminii. Dacă substanța a absorbit un foton de frecvență ν_0 a cărui energie este deci

$$\varepsilon = h\nu_0, \quad (1)$$

această energie este redată în parte sub forma unui foton de energie, iar o altă parte se transformă, în interiorul corpului, în alte forme de energie. Notînd cu A această din urmă parte de energie vom avea

$$\varepsilon = h\nu + A \quad (2)$$

Din (1) și (2) avem:

$$h\nu_0 = h\nu + A, \quad (3)$$

și cum A este mai mare sau cel mult egal cu zero, rezultă că ν este mai mic sau cel mult egal cu ν_0 , adică frecvența radiației fluorescente este mai mică sau cel mult egală cu frecvența radiației care a provocat fotoluminiscenta, ceea ce în lungimi de undă se exprimă în modul arătat la enunțarea legii lui Stokes.

În realitate, și radiațiile din infraroșul apropiat produc uneori — cum rezultă din experimentări mai recente — fluorescența în lumina vizibilă; se produce în acest caz mai întîi excitarea atomului pînă la niveluri metastabile, în care atomul rămîne mai mult timp, pînă ce o nouă cuantă infraroșie face ca atomul să treacă la nivelul superior stabil, întoarcerea făcîndu-se cu emisiunea unui singur foton în spectrul vizibil (fenomen antistokes).

În prezent se cunosc foarte numeroase substanțe naturale sau artificiale care sînt fluorescente în lumina vizibilă: sărurile de uraniu, fluorina, petrolul și derivatele sale, fluoresceina, eozina, fucsina etc.

b) Fluorescența în ultraviolet. Legea lui Stokes arătînd că radiațiile cele mai potrivite pentru a produce excitația unora din substanțe și a provoca

fluorescența lor sînt cele cu lungime de undă mai mică, cercetările s-au îndreptat spre regiunea ultravioletă a spectrului. Lămpile care produc lumina ultravioletă produc însă în același timp și radiații vizibile, care împiedică o bună studiere și utilizare a fenomenului de fluorescență provocat de razele ultraviolete. De aceea, din lumina bogată în raze ultraviolete, dar cuprinzînd și alte radiații, se separă radiațiile fluorogene utile de radiațiile vizibile, care stînjesc observarea netă a fenomenului de fluorescență și de radiațiile cu lungimi de undă mai mică, care constituie o primejdie fiziologică.

În acest scop s-a căutat să se filtreze lumina: filtrul violet utilizat de Tyndall s-a dovedit prea puțin selectiv. În 1912, Wood a realizat — așa cum am mai arătat — un filtru de sticlă neagră cu oxid de nichel, care așezat în fața unei lămpi de cuarț, cu vapori de mercur, permite numai trecerea unor benzi de radiații ultraviolete cu lungimi de undă cuprinse între $\lambda = 3\,650\text{ \AA}$ și $\lambda = 3\,665\text{ \AA}$, precum și radiația de $\lambda = 3\,341\text{ \AA}$, foarte vecine cu violetul vizibil. În afară de lămpile de raze ultraviolete de laborator, cu ecran de sticlă cu oxid de nichel, se fabrică în prezent lămpi de formatul becurilor electrice cu incandescență, care sînt lămpi de cuarț cu vapori de mercur sub presiune și îmbrăcate într-un balon de sticlă cu oxid de nichel. Ele se pot minui cu mai multă ușurință.

Numeroasele substanțe care au o fluorescență caracteristică în ultraviolet au făcut ca aceste cercetări să devină o metodă curentă de identificare, analiză și cercetare numită *fluoroscopie*. Despre domeniul de folosire a acestei metode în biologie și medicină se va vorbi la sfîrșitul capitolului privind luminiscenta.

c) **Fluorescența în raze catodice.** În tuburile în care se produc raze catodice iau naștere electroni care sînt respinși de catod spre anticatod. Despre aceste fascicule de electroni, mecanica cuantică arată că au, pe lîngă natura corpusculară, și caractere ondulatorii.

Experiența arată că un fascicul de raze catodice produce fluorescența sticlei pe care cade, precum și a anumitor alte substanțe așezate în calea lor. Astfel, peretele anticatodic de sticlă din tubul Crookes devine fluorescent; diamantul, sulfura de calciu, devine și ele fluorescente. De asemenea, ecranul oscilografului catodic acoperit cu ZnS devine fluorescent la atingerea lui de razele catodice și permite astfel producerea spotului luminos; ecranul aparatului de televiziune și cel al microscopului electronic pot funcționa ca atare numai datorită faptului că devin fluorescente sub acțiunea razelor catodice.

d) **Fluorescența în raze Röntgen.** Razele Röntgen produc fluorescența platinocianurii de bariu, a wolframului de calciu, a sulfurii de zinc etc. Radioscopia, atît de folosită în controlul preventiv al sănătății milioane de oameni, în diagnostic, în industrie, în artă etc., nu ar fi posibilă fără această însușire a razelor Röntgen de a face fluorescentă substanța cu care este acoperit ecranul radioscopic.

e) **Fluorescența în radiații radioactive.** Radiațiile radioactive, și în-deosebi razele γ , provoacă de asemenea luminiscenta unor substanțe și impresionează ecranul radiologic: Astfel, izotopii radioactivi, în deplasările lor în organism, pot fi urmăriți între altele cu ajutorul ecranului de platinocianură de bariu, pe care-l fac fluorescent.

5. ELECTROLUMINISCENȚA

Fenomenele luminoase care însoțesc descărcările electrice în gaze rarefiate, precum și alte fenomene similare, cunoscute de obicei sub numele de fenomene luminoase datorite ionizării gazelor, sînt fenomene de electroluminiscentă.

Acestea se pot produce la o intensitate mică, dar sub tensiune relativ mare a curentului care traversează circuitul. Astfel, tuburile cu descărcări în gaze, cunoscute sub numele de tuburi Geissler sau, în practica zilnică, sub numele de tuburi cu gaze rarefiate (tuburi cu neon) sînt tuburi electroluminiscente. Tensiunea se aplică la cei doi electrozi ai tubului. Culoarea descărcării depinde de natura gazului și de presiunea gazului din tub.

Fenomenul de electroluminiscență se poate produce și la excitarea cu ajutorul unui cîmp electromagnetic de înaltă frecvență. Astfel, în cîmpul de înaltă frecvență produs de un aparat de unde scurte, de exemplu, un tub mic cu neon, de tip medical, devine luminos numai la apropierea de circuitul oscilant. În practica electroterapiei se întrebuițează asemenea tuburi electroluminiscente pentru a se controla, după intensitatea lor luminoasă, valoarea cîmpului de înaltă frecvență aplicat subiectului. Se construiesc aparate de înaltă frecvență ai căror electrozi sînt de sticlă, monopolari, și care conțin gaz rarefiat; la trecerea curentului, gazul devine luminiscent și bombardamentul electronic și ionic asupra pereților de sticlă determină fenomene de condensare, producerea unor scînteii pentru masaj electric etc., așa cum am arătat într-un capitol precedent. Tuburile luminiscente cu descărcare în gaze rarefiate vor fi descrise mai amănunțit în capitolul privind producerea razelor Röntgen.

6. GALVANOLUMINISCENȚA

Un fenomen de luminiscență care prin originea lui este înrudit cu cel de electroluminiscență, dar care se produce în alt mod, este cunoscut sub numele de galvanoluminiscență. În anumite electrolite iau naștere, în legătură cu fenomenele de oxidoreducere din vecinătatea electrozilor, fenomene luminiscente. Astfel, dacă electrolizăm diferitele săruri: NaCl , KBr , AlCl_3 , într-un electrolizor cu anodul de mercur, se observă pe suprafața anodului o luminiscență a cărei intensitate variază în raport cu concentrația electrolitului. La fel, electroliza cu electrozi de aluminiu a unei soluții de acid tartric dă o luminiscență frumoasă. Printre alte fenomene de galvanoluminiscență, trebuie menționată și luminiscența catodică a sulfatului de taliiu.

C. LUMINISCENȚA DE DURATĂ

1. CHEMILUMINISCENȚA

Chemiluminiscența sau chimioluminiscența este un fenomen de luminiscență ce se clasifică, din punctul de vedere al intervalului „de stingere” în grupa fenomenelor de luminiscență de durată. Chemiluminiscența se datorește energiei reacțiilor chimice și îndeosebi a oxidărilor, care în anumite condiții produc o luminiscență de durată.

Cele mai vechi observații de chemiluminiscență datează din secolul al XVII-lea, cînd au fost observate de Brand și Kuntel la fosfor (1669). Într-un tratat de chimie din 1861 se menționează că muncitorii care au lucrat toată ziua în uzina de fosfor expulzează din stomac, prin eructații, gaze care sînt luminoase pe întuneric, astfel că ei par a scoate foc din gură.

Injectîndu-se ulei camforat în venele unui cîine, s-a observat că respirația animalului devine luminoasă în întuneric.

Anumite substanțe sulfurate sau fosforate organice gazoase provenite din descompuneri dau de asemenea, prin oxidare, fenomene de chemiluminiscență

sub formă de focuri rătăcitoare, flăcări reci etc. Chemiluminiscenta se mai observă la multe substanțe organice în curs de oxidare (amide etc). Ca fenomen legat de oxidare, chemiluminiscenta poate deveni un mijloc de a evalua oxigenul activ, capacitatea oxidantă etc. În mod curent, chemiluminiscenta se numește și *fosforescență*.

2. BIOLUMINISCENȚA

Luminiscenta este adesea produsă de procesele vitale din corpul diferitelor animale sau plante; ea durează tot timpul vieții lor. Licuriciul este reprezentantul tipic al acestei categorii de ființe. Luminiscenta lui este datorită activității vitale; el își luminează mediul în întunecimea pădurilor. Sînt multe alte vietăți, plante și animale, pe toate treptele de dezvoltare, de la microbi pînă la vertebrate, precum și în toate mediile (aerobii și anaerobii, în aer, pe pămînt și în apă), pe tot globul, care prezintă fenomenul de bioluminiscentă, un fenomen de adaptare din cele mai caracteristice.

Dintre organisme vegetale, cităm ciupercile luminescente care emit prin anumite părți ale corpului, și adesea prin întregul lor corp, o lumină verde sau albicioasă. Asemenea ciuperci fac luminescente lemnele vechi, putrezite, scoarța arborilor, foile moarte și dau în unele galerii de mină, pe lemnăria susținătoare, o lumină care face unora vizibile obiectele din jur.

În fig. 491 este reprezentat bustul fiziologului Claude Bernard luminat cu baloanele din jur, care conțin culturi de bacili luminescenți.

Anumite specii de bacterii care trăiesc în apă de mare sînt luminescente; diferiți pești devin luminescenți după moarte, prin acțiunea acestor fotobacterii, cărora le servesc drept mediu de trai. Tot fotobacteriilor li se datorește luminescenta urinei și sudorii, a legumelor și a cărnii alterate, a cadavrelor și chiar a unor părți ale corpului viu (plăgi luminescente). Dubois a făcut luminoasă timp de 12 ore o plagă inoculată cu fotobacterii pe spatele unei broaște.

În regnul animal, protozoarele ca *Noctyluca brillans*, care trăiesc pe suprafața mării, produc luminescenta acesteia. Polipierii pescuiți în Golful Gasconiei (Franța), unde trăiesc la adîncimi mari (4 000—5 000 m), formează acolo adevărate păduri luminoase, de culoare roșie, violetă, portocalie, al-



Fig. 491 — Bustul lui Claude Bernard iluminat cu baloane conținînd culturi de bacili luminescenți (din Tratatul de fizică biologică al lui d'Arsonval).

bastră, verde și chiar albă strălucitoare. Numeroși pești luminoși, caracatițe care au 24 de organe luminoase, pești cu solzi care se îndepărtează permițând organelor luminoase să proiecteze lumina în jur, meduze, moluște și nenumărate specii de insecte luminoase arată cât de răspândit este fenomenul de bioluminescență în regnul animal.

3. FOSFORII CRISTALINI

Substanțele cunoscute sub denumirea de fosfori cristalini, cristalofosfori sau fosforii lui Lenard prezintă fenomenul de fotoluminescență, luminiscenta lor fiind provocată de radiații luminoase; o dată excitate, ele rămân cu o luminiscentă de anumită durată. Se poate deci considera că cristalofosforii au o fotoluminescență de durată.

Uneori, luminiscenta cristalofosforilor se mai numește *fosforescență artificială*, spre a se deosebi de cea a fosforului.

Luminiscenta fosforilor cristalini este intensă și prezintă deseori un anumit interes practic. Aceste substanțe sînt de obicei neorganice și în stare pură nu dau luminiscentă; ele capătă această însușire prin adăugarea unor mici cantități de activatori, de obicei compuși metalici.

Fosforii cristalini se caracterizează printr-o emisie de durată, care depinde și de temperatură: urcarea temperaturii reduce considerabil durata emisiunii luminoase, mărind în același timp foarte mult strălucirea fosforescenței lor.

O experiență simplă arată acest fenomen. Se excită fosforescența unui ecran de sulfură de zinc iluminîndu-l cu lumina unui arc electric. La întineric, ecranul va fi luminos cîteva secunde, luminozitatea sa stingîndu-se treptat. Dacă de partea opusă a ecranului aplicăm un corp cald, de exemplu în formă de disc, regiunea circulară încălzită a ecranului va străluci puternic; această regiune se întunecă însă mai repede decît restul ecranului.

Deosebirea dintre fotoluminescența temporară (fluorescență) și cea de durată (fosforescența fosforilor cristalini) constă în faptul că, la excitarea cristalofosforilor, electronii sînt adesea complet îndepărtați din poziția pe care o ocupau în rețeaua cristalină; datorită acestui fapt, conductibilitatea electrică a cristalelor crește și apare fosforescența, însoțită de reîntoarcerea electronului îndepărtat sau a altui electron în locul lui. Mobilitatea electronilor în cristale fiind mică, durata acestei stări de excitare este uneori foarte mare.

Dintre fosforii cristalini, cei mai cunoscuți sînt ZnS, CdS și CaS, însoțiți totdeauna de un activator. O întrebuințare de interes general, în dezvoltarea tehnicii transporturilor, a fost folosirea sulfurii de calciu în epoca de început a căilor ferate, pentru a face luminoase noaptea traversele de lemn pe care sînt așezate șinele de cale ferată; în acea epocă, în care nu existau încă mijloace perfecționate de semnalizare, luminiscenta traverselor a contribuit la orientarea, pe întineric, a celor care conduceau trenurile.

Cristalofosforii sînt întrebuințați la ceasurile cu cadran luminos, iar în timp de camuflare a luminii servesc la îndrumare.

D. APLICAȚIILE FLUORESCENȚEI

Dintre numeroasele fenomene de luminiscentă ce se întîlnesc în lumea organică și în cea minerală, și pe care le-am descris și clasificat mai înainte, trebuie să ne oprim ceva mai mult asupra fluorescenței, tratînd aplicațiile ei legate de biologie și medicină.

1. FLUORESCENȚA BIOLOGICĂ

În biologie se întâlnesc numeroase fenomene de fluorescență, îndeosebi în ultraviolet. Actiniile au uneori o frumoasă fluorescență în ultraviolet. Numeroase crustacee sînt fluorescente.

Ceara și secrețiile insectelor au adesea o frumoasă fluorescență. Fluorescența roșie, rar întâlnită, se observă la porfirină și la anumiți derivați ai bilirubinei. Bilirubina se decosește de hematoporfirină prin faptul că prima are în stare solidă o fluorescență roșie, în timp ce a doua are această fluorescență numai în soluție. Dizolvată în CHCl_3 , bilirubina dă o ușoară fluorescență verde-gălbui.

În corpul omenesc se observă o fluorescență a diferitelor țesuturi. În lumina ultravioletă, keratina are o fluorescență în general albă-albăstrui a proteinelor, și așa este regăsită la unghii, piele întărită și cornoasă. Dinții sînt fluorescenți: ei au o strălucire albă intensă, în timp ce dinții artificiali nu sînt fluorescenți și rămîn întunecoși. Punctele cariate au fluorescență roșiatică a porfirinelor secretate.

Oasele au o fluorescență albă-gălbui, iar la cartilaje, tendoane, vase, părți seroase, bronhii, fluorescența variază cu vîrsta, de la albastru la copii la alb-albăstrui la adulți. Părul are o fluorescență albăstrui cu atît mai accentuată cu cît este mai puțin pigmentat. Părul din axile poate prezenta fluorescență de la violet la portocaliu.

Substanțele cerebrale au o fluorescență albă-albăstrui foarte vie. Creierul apare galben în părțile superficiale, în timp ce porțiunea centrală dă o fluorescență roz. Cerebelul dă o fluorescență galbenă-cenușie. Bila, urina, sudoarea dau de asemenea o fluorescență foarte netă, în lumina ultravioletă.

2. FLUOROSCOPIA

Înșușirea diferitelor substanțe minerale și organice, a multor țesuturi și formațiuni anatomice, a unor substanțe biochimice etc. de a prezenta, în lumina ultravioletă, o fluorescență caracteristică a prilejuit apariția unei metode de examen numită fluoroscopie. Metodele similare de analiză cantitativă sînt cunoscute sub numele de fluorometrie.

Pentru examenul fluoroscopic se utilizează lămpi de produs raze ultraviolete, de diferite tipuri și mărimi; ele au un tub de cuarț cu vapori de mercur și un ecran Wood de sticlă neagră (cu oxid de nichel), prin care trec, după cum am arătat, numai anumite radiații ultraviolete.

Vom reda cîteva din caracterizările fluoroscopice din domeniul biologiei și medicinei, și utilizările corespunzătoare.

Fluorescența roșie a porfirinei poate fi folosită pentru cercetarea urmelor de sînge în medicina judiciară, însă sub rezerva cercetărilor spectroscopice ulterioare. Porfirinele prezintă o fluorescență mai roșie în soluție alcalină decît în mediu acid. Metoda obișnuită de cercetare constă în a adăuga singelui o cantitate egală de H_2SO_4 concentrat și a dilua apoi cu apă. Se recunoaște fluorescența roșie a hematoporfirinei la o concentrație de 0,000 2 cm^3 sînge în 5 cm^3 apă. Prin adăugare de NH_4OH , fluorescența roșie trebuie să se accentueze. Metoda se aplică la recunoașterea apariției porfirinei în fecale, în caz de hemoragie internă și deci la depistarea cancerului tubului digestiv.

Printre aplicațiile clinice ale fluoroscopiei în ultraviolet trebuie menționat examenul urinii. În stare proaspătă, urina normală are o fluorescență destul de vie, verde-gălbui și ușor opalescentă. Culoarea fluorescenței pălește prin învechire și irradiație. Prezența proteinelor în urină îi dă o fluores-

cență opalină. Prin alcalinizare, fluorescența devine verzuie și prin acidificare devine albastruie.

Diferite substanțe fluorescente ingerate pot fi regăsite în urină prin examenul fluoroscopic (cum sint acridina, porfirina).

În domeniul hormonilor, examenul fluoroscopic a dus la constatări importante. În adevăr, urina gravidelor dă reacții de fluorescență, care pot fi folosite la detectarea hormonilor estrogeni în urină. Pentru a distinge estrogenul și estriolul de colesterol, steroli sau substanțe analoge, s-au imaginat procedee rapide de extracție a hormonului supunând urina unei hidrolize acide și făcând apoi extracția. Hormonul extras este dizolvat în cloroform, apoi agitat cu un volum egal de H_2SO_4 și CH_3COOH . Acidul sulfuric capătă o colorație galbenă cu fluorescență verde în cazul urinei unei femei gravide, pe cînd la urina unei femei negravidă se observă o fluorescență albastră-verzuie slabă.

Examenul amprentelor digitale în ultraviolet poate da unele indicații, datorită substanțelor grase sau fluorescente ce se pot afla pe piele; se poate presăra cu un produs luminiscent fin, dacă fondul nu este el însuși luminiscent, sau cu pulbere de cărbune dacă fondul este fluorescent.

Oasele provenind de la un cadavru îngropat sint fluorescente, pe cînd cele de la un cadavru ars nu sint fluorescente.

În histologie, fluoroscopia aduce înlesniri în studiul țesuturilor.

În medicină, fluoroscopia folosește la depistarea anumitor boli. Dinții au o fluorescență albă-verzuie, pe cînd punctele cariate apar roșii pe fond luminos, din cauza porfirinei. Erupțiile sifilitice sau eritematoase sint puțin vizibile în lumina albă, dar pot fi ușor puse în evidență în ultraviolet. Regiunile pielii cu parakeratoză apar albe-gălbui pe fondul ușor fluorescent albastru al pielii sănătoase.

O altă aplicație interesantă în acest domeniu este depistarea favusului. Pielea cu păr normal are o fluorescență slab cenușie, cu reflexe violacee, pe cînd pielea bolnavă are o fluorescență albastră-verzuie. Favusul se prezintă în lumina Wood sub formă de mici plăci de culoare galbenă-verzuie, nefluorescente; părul favic are o ușoară fluorescență verde.

Fluoroscopia înlesnește detectarea bolilor de ochi: keratita, cataracta; în aceste cazuri, corneea are o fluorescență albă ca porțelanul.

Examenul fluoroscopic permite descoperirea falsificării alimentelor (făină, zahăr), a drogurilor, medicamentelor.

Pe cale fluorometrică, se pot doza cantități de riboflavină de 0,1 γ /ml. Fluorescența produsă este primită pe o celulă fotoelectrică și după intensitatea fotocurentului (citită la un microampermetru), se poate afla conținutul de substanță fluorescentă al soluției.

Fluoroscopia are aplicații generale, în explorări geologice, miniere, petrolifere, în industria sticlei, a materialelor de construcție, industria textilă, chimică, în chimia organică, tehnică și biologică, la recunoașterea diferiților componenți ai unor amestecuri complexe.

3. ILUMINATUL FLUORESCENT

Una din cele mai importante aplicații ale fluorescenței este folosirea ei în iluminatul general.

Am arătat la descoperirea lămpii electrice cu incandescență că, pentru a obține o lumină cât mai apropiată de cea albă, Lodighin a introdus filamentul de wolfram, care, avînd temperatura de topire de 3 370°, poate fi încălzit la o temperatură ridicată. Cu toate că lampa electrică cu incan-

descentă a atins aproape limitele randamentului luminos, ea transformă totuși în radiațiile luminoase numai 2—3% din energia electrică consumată, iar restul de 97—98% îl transformă în căldură. O mărire a randamentului luminos este posibilă numai prin ridicarea și mai mult a temperaturii filamentului incandescent. În afară de wolfram, se cunosc unele carburi, îndeosebi carbura de tantal, cu temperatura de topire mai ridicată (4 500°C). Încercările făcute arată însă că lămpile cu filament de carbură de tantal nu sînt durabile, așa că nu pot fi utilizate.

Randamentul luminos mic al lămpilor cu incandescență, cum și culoarea gălbuie a radiațiilor, care se deosebește de culoarea luminii naturale, au determinat căutarea unor noi izvoare de lumină. După cum am arătat, nici lampa cu arc nu poate fi folosită pentru iluminatul general, ci numai pentru scopuri speciale, deși ea dă o lumină mai apropiată de cea naturală.

S-a recurs la lumina dată de tuburile luminiscente în care se produc descărcări electrice în gaze rarefiate sau în vapori metalici. Aceste tuburi cer însă aplicarea unor tensiuni mari la electrozi (cîteva mii de volți); pe de altă parte, culoarea prea vie a radiațiilor constituie un inconvenient mare al acestor tuburi luminiscente. La începutul secolului actual s-a reușit a se rezolva problema coborîrii tensiunii, iar pe măsura dezvoltării radiotehnicii s-au construit și pentru tuburile cu gaze rarefiate electrozi încălziți separat, pentru a se înlesni lucrul de ieșire a electronilor; s-au putut astfel obține și tuburi cu vapori metalici care funcționează la tensiunea obișnuită (120—220 volți).

Au fost folosite în iluminatul public lămpi cu vapori de mercur și cu vapori de sodiu. Cele cu vapori de mercur dau însă o lumină albastră-verzuie, iar cele cu vapori de sodiu o lumină galbenă, ceea ce influențează vederea culorii obiectelor iluminate și este supărător pentru ochi. Utilizarea acestor lămpi la iluminat este însă mai economică decît a lămpilor cu incandescență: eficacitatea luminoasă a lămpilor cu vapori de mercur atinge 40—60 lumeni pentru un watt, a lămpilor cu vapori de sodiu 70—80 lumeni pentru un watt, în timp ce a lămpilor cu incandescență reprezintă abia 7—20 de lumeni pentru un watt; totuși, dezavantajele arătate au limitat utilizarea lor.

S. I. Vavilov a arătat, încă din 1931, posibilitatea măririi randamentului luminos al lămpilor cu descărcări electrice în gaze rarefiate și modificarea culorii radiațiilor acestora prin folosirea unor substanțe care devin fluorescente în lumina ultravioletă. Aceste substanțe, numite „luminofori“, transformă lumina ultravioletă invizibilă pentru ochiul nostru, în lumină vizibilă.

În lămpile fluorescente construite pe acest principiu, circa 15—20 % din energia electrică furnizată lămpilor se transformă în radiații situate în regiunea vizibilă a spectrului, în timp ce la lămpile cu incandescență am văzut că această proporție nu depășește 3%.

Pe de altă parte, folosirea anumitor luminofori în proporții calculate permite să se obțină la lămpile fluorescente radiații de orice compoziție spectrală, pînă la alb și pînă la cele asemănătoare cu lumina zilei. Cu ajutorul lămpilor fluorescente se poate compensa lipsa luminii naturale acolo unde ea nu poate pătrunde, în încăperile subterane și în cele fără ferestre. Metropolitanul din Moscova este luminat ca ziua cu lămpi fluorescente. În clădirile industriale, unde lumina pătrunde lateral, se utilizează o iluminare cu lămpi fluorescente astfel aleasă încît să se creeze un regim uniform. Un releu fotoelectric face ca atunci cînd lumina naturală este în cantitate mare, la amiază, în zile însorite, lămpile fluorescente să nu funcționeze; cînd iluminatul natural este slab, lumina fluorescentă se aprinde automat.

a) **Lampa fluorescentă** este un tub cu diametrul de 25—38 mm și lungimea între 500 și 1 200 mm. Tubul este de sticlă și are doi electrozi formați din cîte o spirală de wolfram, acoperită cu un strat emisiv de oxid de bariu sau oxid de toriu, care dau mai ușor electroni la încălzirea filamentului.

Lămpile funcționînd în curent alternativ de 50 Hz, fiecare din electrozi este de cîte 50 de ori pe secundă, pe rînd, anod și catod, și cum catodul este cel care prezintă interes, fiindcă emite electroni, lampa se mai numește lampă cu doi catozi. În interiorul tubului se introduce o cantitate foarte mică (cîteva miligrame) de mercur și foarte puțin gaz inert, de obicei argon, la presiunea de 3—4 torri.

Substanțele care devin fluorescente în ultraviolet (luminoforii) sînt depuse sub formă de pulbere cristalină foarte fină într-un strat subțire, de circa 10μ , pe partea interioară a peretelui tubului de sticlă, cu ajutorul unei soluții de nitroceluloză în acetat de amidon. Stratul trebuie să fie destul de gros pentru a da lumină fluorescentă suficientă și a împiedica vederea pîlpîririi coloanei luminoase, așa cum se vede de obicei în tuburile cu descărcare în gaze; trebuie să fie apoi destul de subțire pentru ca fluorescența provocată pe partea interioară să fie transmisă și în partea exterioară a tubului, pentru a radia lumină.

b) **Luminoforii.** Ca luminofori sînt utilizați pentru aceste lămpi substanțe fotoluminiscente (fluorescente) cristalizate; aceste substanțe trebuie să aibă următoarele proprietăți principale: să folosească la maximum radiațiile ultraviolete ale descărcării electrice în vapori de mercur de joasă presiune, pentru a le transforma în radiații vizibile cu compoziția spectrală necesară, să aibă un spectru de radiație continuu, să fie stabile la variații de temperatură, să nu se altereze sub acțiunea proceselor fizice care au loc în lampa fluorescentă.

În tabelul 47 sînt dați cîteva din luminoforii cei mai întrebuițați.

Tabelul 47

Cîteva luminofori utilizați în construirea lămpilor fluorescente

Luminoforul	Substanța activatoare	Culoarea radiației emise	Maximum de absorbție (Å)	Maximum de radiație (Å)
Wolfram de calciu	Mn	Albastru	2 720	4 000
Wolfram de magneziu	—	Albastru-alb	2 850	4 800
Silicat de zinc	Mn	Verde	2 537	5 250
Silicat de zinc și beril	Mn	Galben-alb	2 537	5 950
Borat de cadmiu	Mn	Roz	2 500	6 150

Acești luminofori au o sensibilitate ridicată față de radiațiile ultraviolete și în special față de liniile de rezonanță ale mercurului (2 537 Å) care alcătuiesc peste 50% din energia radiată de lampa cu vapori de mercur. Fiecare luminofor are adăugat un activator în cantitate foarte redusă (0,5—1%) care contribuie la stîrnirea (amorsarea) fluorescenței (Mn, Cu, Ag, Bi). Printr-o prelucrare specială și prin dozarea amestecului de luminofori se pot obține radiații de diferite compoziții spectrale: lumina zilei, lumină mai dulce, lumină albă.

c) **Principiul funcționării lămpii fluorescente** a reieșit în bună parte din descrierea elementelor ei componente. La închiderea circuitului, se

produce o descărcare electrică prin argon; atomii de argon sint excitați de electronii emiși de catozii lămpii; temperatura gazului se ridică pînă la 40°. Această temperatură, de ordinul de mărime a temperaturii corpului omenesc, este suficientă pentru a produce evaporarea unei mici cantități din mercurul din tub. Descărcarea electrică se continuă astfel în vapori de mercur de joasă presiune. Această descărcare dă radiații vizibile de 5 780 Å (galben-verde), 4 358 Å (albastru) și 4 047 Å (violet), ceea ce dă laolaltă lumina albastră-verzuie cunoscută a descărcărilor electrice în vapori de mercur; mai dă însă și radiații ultraviolete de 3 654; 3 129; 3 022; 2 967 și îndeosebi de 2 537 Å, radiația de rezonanță a mercurului. Această radiație este foarte intensă în tuburile reci, cu presiune joasă. Nocivă pentru

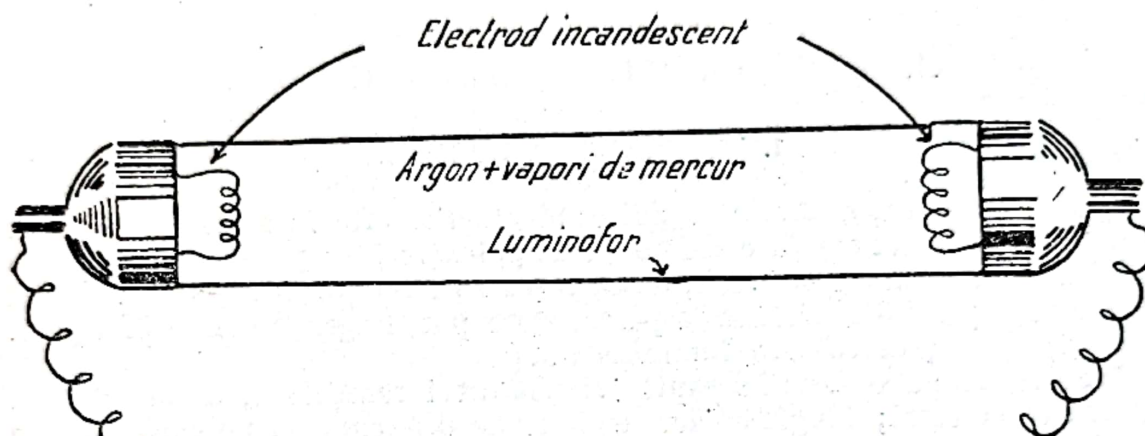


Fig. 492 — Schema lămpii fluorescente.

ochi, dacă descărcarea are loc într-un tub de cuarț (transparent pentru ultraviolet), radiațiile sînt aci inofensive, fiindcă tubul de sticlă nu este transparent pentru ultraviolete.

Razele ultraviolete din tub provoacă fluorescența luminofoilor de pe peretele interior al tubului și-l fac astfel luminos.

În fig. 492 este dată schema lămpii fluorescente.

Lampa fluorescentă constituie în iluminatul actual o cotitură la fel de importantă ca aceea făcută în secolul trecut de lampa cu arc și de lampa electrică cu incandescență. Ea are avantaje asupra lămpii cu incandescență, prin faptul că dă un flux luminos de patru ori mai mare, iar față de lămpile cu glob albastru de șapte ori mai mare, pentru aceeași putere electrică absorbită. Pe de altă parte, stratul de luminofor conferă lămpii calitatea de a difuza lumina la fel ca sticla opalescentă, așa că aceste lămpi pot fi folosite direct, fără a produce fenomene de orbire; folosirea directă evită pierderile de intensitate legate de acoperirea lămpii cu dispozitive care difuzează lumina (globuri etc.).

Cu lămpile fluorescente, care dau o lumină albă și rece, se realizează o micșorare a consumului de energie electrică cu 40% și o mărire a iluminării cu 86%.

Iluminatul fluorescent este indicat în institute de proiectări, de studii, în teatre, cinematografe, galerii de artă, expoziții și în general pentru iluminatul ornamental al localurilor publice.

În țara noastră au început să fie introduse, din anul 1952, lămpile fluorescente; folosirea lor în instituții și întreprinderi se răspindește tot mai mult, datorită avantajelor pe care le oferă pentru igiena și sănătatea publică.

IV. STUDIUL DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ÎN GAZE RAREFIATE

În capitolul în care am examinat luminiscenta am arătat cum se produce efectul de electroluminiscentă, adică apariția luminii în gaze, în urma excitației atomilor cu ajutorul unui curent electric. În capitolul de față vom relua subiectul pentru a putea ajunge prin studiul acestor descărcări la cunoașterea razelor catodice și a aparatelor de cercetare științifică: oscilograf catodic, microscopul electronic, și a trece apoi la studierea razelor Röntgen și a metodelor de diagnostic, terapie și cercetare pe care aceste radiații le pun la dispoziția medicinei, tehnicii și științei în general.

A. DESCĂRCĂRILE ELECTRICE ÎN GAZE

1. LA PRESIUNEA NORMALĂ

Am arătat că, atunci când doi conductori se află în aer la o distanță anumită și între ei există o diferență de potențial, se produce între acești conductori o scintee electrică; descărcarea se numește disruptivă. Această descărcare prezintă diferite aspecte, care pot fi grupate în trei tipuri: scintei, egrete, descărcare luminiscentă.

Scintele au o formă dreaptă, sinuoasă ori ramificată, după distanța dintre conductori; lungimea lor depinde de diferența de potențial dintre conductori și de natura gazului în care se produc; astfel, în hidrogen, scintea poate atinge o lungime de două ori mai mare decât în aer, pentru aceeași diferență de potențial și între aceiași conductori. Dacă între cei doi conductori distanța este mai mare decât distanța explozivă, scintea nu se mai produce.

Trebuie să menționăm că, în timp ce prin conductorii metalici și prin electrolite curentul trece mai ușor, prin gaze, care sînt dielectrice, curentul nu trece decât cînd tensiunea lui este destul de mare ca să poată străpunge acest dielectric. În acest caz, curentul străbate gazul sub formă de scintei (fig. 493), așa cum am văzut că se întîmplă între polii mașinii electrostatice.

Mai mult decât natura gazului, influențează asupra descărcării presiunea gazului.

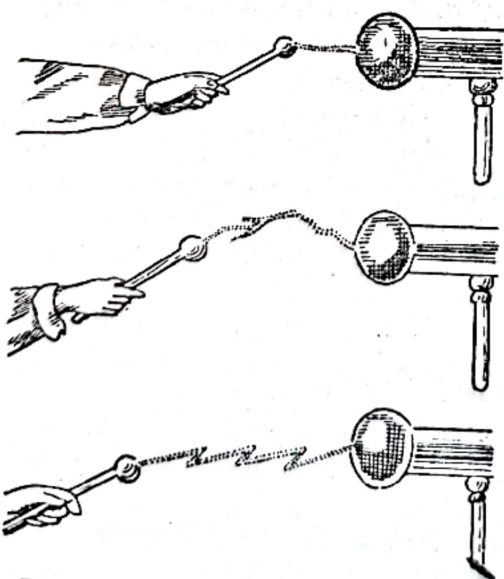


Fig. 493 — Scintei electrice în aer.

2. DESCĂRCAREA ÎN GAZE RAREFIATE

În gaze rarefiate, descărcarea prezintă aspecte diferite; astfel, într-un tub cu aer rarefiat, culorile și formele descărcării variază cu presiunea aerului din tub.

Primele experiențe în legătură cu descărcările electrice într-un tub cu aer rarefiat s-au făcut de Nollet în secolul al XVIII-lea. În secolul al XIX-lea, o serie de cercetători, printre care Hittorf, Crookes, Lenard ș.a., au continuat aceste experiențe.

a) **Oul electric.** Experiențele clasice se fac cu ajutorul unui aparat cunoscut sub numele de ou electric (fig. 494—495); acesta este un recipient ovoidal, de sticlă groasă și având două piese metalice așezate diametral: partea inferioară cuprinde un robinet prin care se poate scoate aerul, făcându-se un vid din ce în ce mai înaintat în aparat; partea superioară are un dispozitiv care permite intrarea variabilă a unui conductor terminat cu o sferă și care se poate astfel apropia mai mult sau mai puțin de un conductor similar fix, așezat în partea inferioară. Conectând acești doi conductori, care constituie electrozii oului electric, la cei doi poli ai unei surse de curent de tensiune ridicată (mașină electrostatică, baterie alcătuită din numeroase elemente, bobină de inducție polarizată), se poate provoca o descărcare între cei doi electrozi. Când în recipient se află aer la presiunea atmosferică, se obține o scinteie în zig-zag. Dacă se micșorează presiunea, scinteia dă ramificații laterale și, dacă se împinge vidul mai departe, scintele devin numeroase și se succed din ce în ce mai repede, transformându-se în egrete (fig. 496).

În aer rarefiat progresiv, studiul se face mai cu înlesnire folosindu-se tuburi de sticlă lungi, de diametru nu prea mare și având un anod și un catod la cele două extremități. Tuburile sînt în legătură cu o pompă de făcut vid progresiv. În planșa nr. V se vede cum, la o presiune de 50 mm Hg, benzi luminoase de culoare violetă pleacă de la electrodul pozitiv, unele spre peretele aparatului, altele spre electrodul negativ. Rezistența aerului s-a micșorat; curentul poate traversa tubul chiar dacă tensiunea nu este mai mare de 2 000 V.

Cînd presiunea ajunge la 5 mm Hg, se formează în intervalul dintre cei doi electrozi o coloană luminoasă pozitivă, de culoare roșie, electrodul negativ începînd a se înconjura cu o lumină violacee.

Dacă se micșorează presiunea și mai mult (2 mm Hg), coloana luminoasă care pleacă de la electrodul pozitiv nu mai atinge pe cel negativ: între cei doi electrozi apare un spațiu întunecos, care desparte electrodul negativ de extremitatea coloanei luminoase pozitive. Acest interval întunecos a fost numit *spațiul întunecos al lui Faraday*, acesta observîndu-l pentru prima oară. Cînd se ajunge la un vid mai înaintat (presiunea = 0,5 mm Hg), lumina roșie se prezintă stratificat, fiind formată din zone luminoase, care alternează cu zone întunecoase. Straturile sînt ușor concave, avînd concavitatea îndreptată spre anod.

În fine, dacă vidul este atît de înaintat încît presiunea este de 0,05 mm Hg, discurile luminii anodice se răresc și devin mai palide; coloana pozitivă se micșorează, spațiul întunecos al lui Faraday se mărește.

S-a văzut deci, chiar de la începutul cercetărilor în acest domeniu, că aspectul descărcărilor în gaze rarefiate depinde în primul rînd de presiunea gazului.

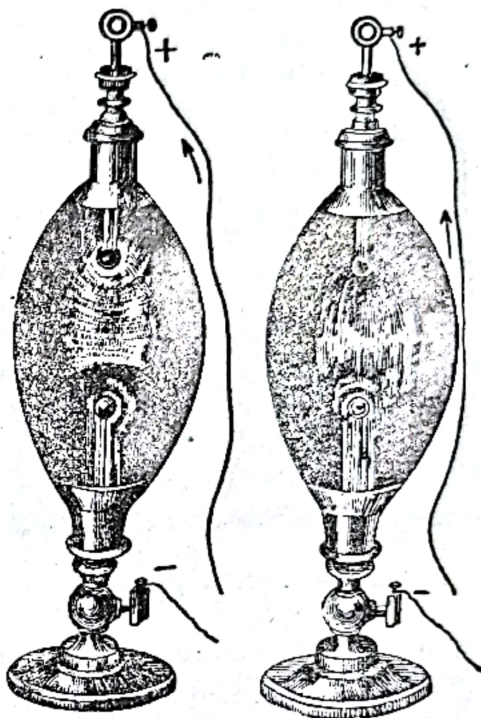


Fig. 494 — 495 — Descărcare electrică în gaz cu presiunea redusă în mod progresiv.

Dacă examinăm, cu mijloacele de cercetare de astăzi, descărcarea luminescentă în unul din cazurile cele mai edificatoare, și anume într-un tub în care presiunea gazului este, de exemplu, de 2 torri, putem delimita următoarele zone caracteristice:

— imediat lângă catod se află un spațiu întunecos foarte subțire, observat pentru prima oară de Aston și numit de aceea *spațiul întunecos al lui Aston*;

— după acest spațiu, urmează un strat subțire *E* de gaz luminescent, numit *prima lumină catodică*;

— după prima lumină catodică, urmează spațiul întunecat catodic *H*, numit *spațiul întunecos al lui Crookes* (uneori, spațiul Hittorf);

— imediat după spațiul întunecos catodic se observă *lumina negativă*, care este delimitată net spre catod, dar a cărei strălucire scade treptat înspre anod, până ce dispare;

— urmează apoi *spațiul întunecos F al lui Faraday*.

Toate aceste zone alcătuiesc părțile catodice ale descărcării electrice în gaze, la presiunea arătată. În afară de spațiul lui Faraday, în celelalte zone enumerate se desfășoară toate procesele atomice de întreținere a descărcării.

— După spațiul lui Faraday urmează, înspre anod, o regiune numită *trunchiul descărcării*. În tuburi de dia-

metru nu prea mare, trunchiul constă dintr-o coloană de gaz ionizat, luminescent, numită *lumina pozitivă* sau *coloana pozitivă* a descărcării.

— În fine, în anumite condiții, se poate observa între coloana pozitivă și anod un *spațiu anodic întunecos*, iar pe anod o lumină numită *lumina anodică*.

Coloana pozitivă urmează forma tubului; dacă distanța dintre catod și anod este mai mică decât cea necesară pentru ca să încapă spațiul catodic întunecos și începutul luminii negative, însă există în același timp în tub și un alt drum, mai lung, între cei doi electrozi, descărcarea luminescentă se face pe acest drum mai lung.

În tuburi mai înguste, trunchiul descărcării are totdeauna aspectul coloanei pozitive luminescente. Coloana pozitivă, de gaz luminescent, poate fi folosită mai mult decât orice altă zonă a tubului, drept izvor de lumină.

b) **Tuburile Geissler.** Tuburile Geissler sînt o aplicare practică a descărcării în gaze, sub presiune redusă. Electroluminiscența, care dă luminozitatea acestor tuburi, este cea a coloanei pozitive care, așa cum am arătat, le umple aproape în întregime, orice formă și lungime ar avea tuburile (fig. 497); uneori, coloana pozitivă poate atinge chiar lungimea de cîțiva metri.

Tuburile Geissler, numite astfel după constructorul lor, au doi electrozi, de cele mai multe ori de platină, și conțin diferite gaze la o presiune de circa 1—3 torri. Dacă între cei doi electrozi se stabilește o diferență de potențial de 1 000 V, trece prin tub un curent de ordinul unui miliamper.

Culoarea coloanei pozitive este diferită, după gazul din tub; este roz-violacee pentru aer, albă-albăstruie pentru CO_2 , albastră-violetă pentru hidrogen, roșie-portocalie pentru neon, roșie pentru oxigen etc. Culoarea coloanei pozitive depinde și de presiunea gazului; ea depinde de asemenea

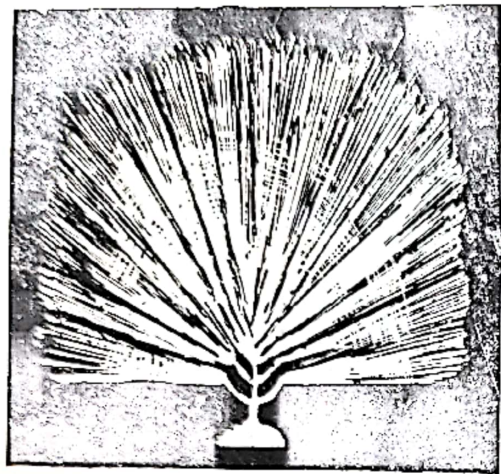
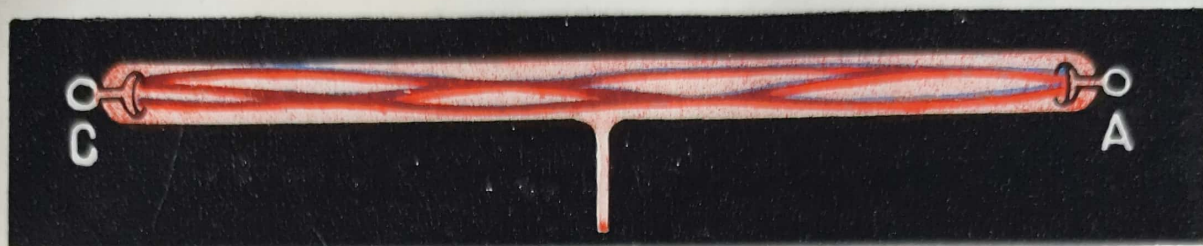


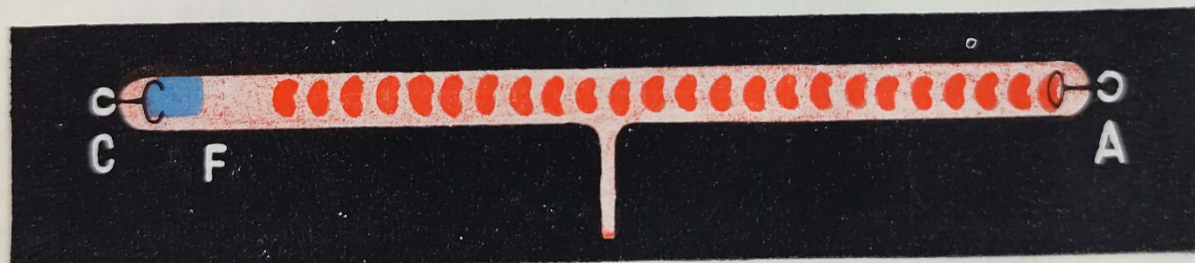
Fig. 496 — Egretă pozitivă.



a — la presiunea de 50 mm Hg ;



b — la presiunea de 2 mm Hg ;



c — la presiunea de 0,5 mm Hg ;



d — la presiunea de 0,05 mm Hg ;

A — anodul ; *C* — catodul ; *F* — spațiul lui Faraday ;
H — spațiul lui Hilori sau al lui Crookes.

Descărcările electrice în gaze rarefiate.

de densitatea fluxului de particule: astfel, dacă tubul prezintă regiuni cu un diametru mic, lumina este foarte strălucitoare în aceste locuri, în comparație cu cea din regiunile mai largi ale tubului; într-un tub cu hidrogen, culoarea albastră-vioacee din părțile mai largi ale tubului devine de un roșu-aprins în partea lui capilară.

Determinînd prin diferite mijloace căderea de potențial de-a lungul unui tub Geissler, se constată că valoarea cîmpului este sensibil aceeași în diferitele regiuni ale coloanei pozitive, coboară în spațiul întunecos al lui Faraday, pentru a deveni aproape nulă în lumina negativă și a căpăta apoi valori foarte ridicate în apropierea catodului. Aci au loc fenomene similare cu cele ce se produc în tuburile Crookes (pe care le vom examina în paragraful următor).

Tuburile electroluminiscente care folosesc lumina coloanei pozitive sînt utilizate, atît pentru iluminarea aerodromurilor, cît și pentru publicitatea luminoasă, deoarece lumina lor se vede mai bine în ceață. Se mai folosesc tuburile umplute cu heliu, care dau o culoare albastră, iar dacă sticla este de culoare galbenă, această lumină albastră trecută prin sticla galbenă dă o culoare verde. Dacă sticla conține urme de oxid de uraniu, capătă o fluorescență verde, care se adaugă la electroluminiscența gazului din tub.

La fel, folosesc lumina coloanei pozitive lămpile cu vapori de sodiu, care am arătat că au o eficacitate luminoasă foarte mare, circa 60 lm/W, dar lumina lor de un galben strălucitor le face neplăcute pentru ochi și face dificilă utilizarea lor la iluminat; sînt însă folosite de multe ori la iluminarea autostrăzilor.

c) **Tubul Crookes.** Dacă se micșorează și mai mult presiunea gazului din tub, se observă că coloana pozitivă se micșorează, în timp ce spațiul întunecos al lui Crookes se mărește din ce în ce, pînă ce ocupă în întregime tubul. Pentru o presiune care atinge a suta mie parte dintr-o atmosferă, coloana luminoasă dispăre în întregime și în tub încep fenomene caracteristice, cu totul deosebite de cele examinate anterior.

Un vid atît de înaintat constituie un dielectric foarte bun, pe care chiar o tensiune de 1 milion de volți, aplicată la electrozi, nu-l poate străpunge. Numai dacă vom dispune în tub de o sursă de electroni, va apărea un curent electric sub acțiunea diferenței de potențial; curentul va circula în acest caz numai într-un singur sens, și anume în cel legat de sensul deplasării electronilor, de la electrodul negativ spre cel pozitiv.

În tubul Crookes, unde presiunea este de ordinul miimii de mm mercur, descărcarea se produce dacă aplicăm o diferență de potențial de ordinul kilovolților. Puținii ioni care se găsesc în aerul rezidual sînt puși în mișcare de diferența de potențial aplicată la electrozi și prin loviturile lor ionizează progresiv restul de gaz, pînă ce în tub se stabilește un regim permanent.

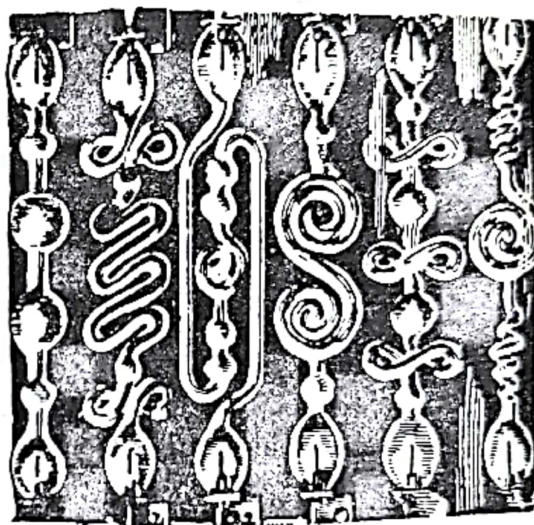
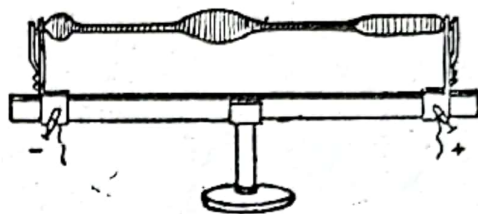


Fig. 497 — Tuburi Geissler.

În acest moment, în tubul Crookes, toate regiunile, afară de cea catodică, se află la același potențial ca anodul, iar în jurul catodului există un câmp foarte intens. Catodul atrage ionii pozitivi și respinge pe cei negativi în virtutea legilor electrostatice. În același timp, o anumită regiune a peretelui tubului devine fluorescentă și, după compoziția chimică a sticlei, capătă o fluorescență verde sau violacee.

Fluorescența se produce totdeauna pe peretele opus catodului, indiferent de locul în care se află anodul tubului; această fluorescență este deci datorită unui agent care se propagă în linie dreaptă pornind de la catod. Faptul se poate dovedi introducând în tubul Crookes un ecran de aluminiu. Pe peretele opus catodului, tubul de sticlă nu va fi fluorescent în dreptul ecranului de aluminiu, și forma acestui ecran se va desena precis pe peretele anticatodic, după regulile propagării rectilinii a radiațiilor și formării umbrelor, studiate în optica geometrică (fig. 498).

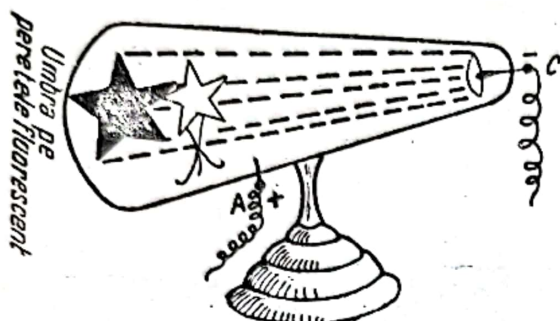


Fig. 498 — Tubul Crookes.

B. RAZELE CATODICE

1. PRODUCEREA RAZELOR CATODICE

Radiațiile invizibile care pornesc de la catodul unui tub cu vidul atât de înălt și se propagă în linie dreaptă se numesc raze catodice. În afară de fluorescența peretelui de sticlă al tubului Crookes, radiațiile catodice provoacă, în întrecerea lor, o slabă fluorescență a urmelor de gaz din tub; deși slab, acest efect analog fenomenului Tyndall permite totuși studierea formei geometrice a traiectoriei radiațiilor catodice.

Mersul razelor catodice se poate stabili prin comparație, folosind două tuburi identice ca formă, având fiecare câte un catod în formă de oglindă concavă și câte doi anodi. Aceste două tuburi diferă între ele numai prin presiunea gazului pe care-l conțin (fig. 499). În tubul din stînga se află gaz sub presiunea de 1 torr (vid Geissler), iar în cel din dreapta sub presiunea de 10^{-2} — 10^{-3} torr (vid Crookes). Dacă se conectează cele două tuburi într-un circuit, la aceeași tensiune suficient de înaltă, se observă în tubul Geissler fenomenele luminoase cunoscute îndreptate spre cei doi anodi, în timp ce la tubul Crookes fenomenul fluorescent Tyndall al gazului rezidual și

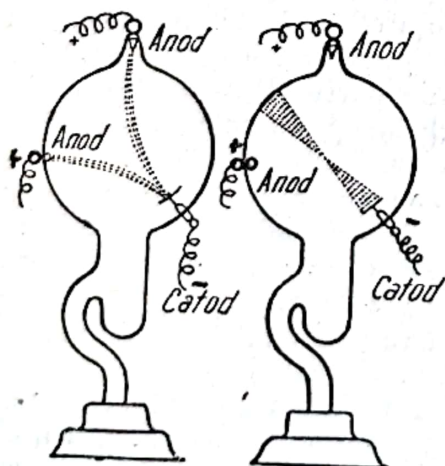


Fig. 499 — Vid Geissler (stînga) și vid Crookes (dreapta).

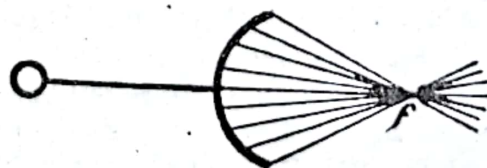


Fig. 500 — Cînd catodul este concav, razele catodice converg în focar.

fluorescența peretelui tubului arată că razele catodice se propagă în linie dreaptă pornind de la catod, indiferent de poziția anozilor. Regiunea atinsă de razele catodice se numește anticatod.

Razele catodice sînt normale la suprafața catodului; dacă acesta este plan, fasciculul catodic este paralel, iar dacă are, ca în exemplul de mai sus, formă concavă, atunci de pe fiecare punct al suprafeței concave a catodului pornesc radiații normale care se întîlnesc într-un focar și pornesc apoi mai departe (fig. 500).

Forma fasciculului catodic depinde într-o anumită măsură și de presiunea gazului din tub. Dacă presiunea scade, baza fasciculului se strînge spre centrul catodului, iar dacă acesta este concav, razele converg din ce în ce mai puțin, pînă ce iau forma unui fascicul filiform, chiar ușor divergent.

2. PROPRIETĂȚILE RAZELOR CATODICE

Dacă razele catodice întîlnesc un obstacol, energia lor se transformă în alte forme de energie; se observă în acest caz o serie de fenomene interesante:

a) Razele catodice produc acțiuni mecanice: o morișcă de sticlă așezată pe un ax și pe un dispozitiv de rostogolire este pusă în mișcare de rotație și de rostogolire de la catod spre anticatod.

b) Concentrînd fasciculul catodic într-un punct prin folosirea unui catod concav și așezînd în focarul catodului un fir de platină menținut de un suport izolant, platina este adusă la incandescență roșie-albă și poate fi chiar topită (fig. 501).

c) Regiunea anticatodică pe care cad razele catodice devine fluorescentă; la fel devin fluorescente și alte substanțe lovite de razele catodice: diamantul emite străluciri verzi, rubinul roșii, o bucată de cretă dă o lumină portocalie strălucitoare; sulfura de zinc, oxidul de aluminiu ș.a. prezintă fluorescență în bătaia razelor catodice.

d) în fine, razele catodice pot traversa materia în anumite condiții. Dacă obturăm o fantă practică în regiunea anticatodică, cu o lamă de aluminiu în grosime de cîțiva microni, razele catodice o străbat, ies în aer și străbat o distanță de cîțiva centimetri; ele ionizează puternic aerul și transformă oxigenul în ozon.

3. NATURA RAZELOR CATODICE

Razele catodice sînt alcătuite dintr-un flux de electroni.

Crookes a dovedit că razele sînt alcătuite din particule avînd sarcini electrice, făcînd experiența următoare: într-un tub Crookes cu doi catodi se află o lamă de mică cu două fante; fiecare din ele lasă să treacă un fascicul catodic. Aceste două fascicule, avînd sarcini de același semn, se resping, la fel cum fac două corpuri încărcate cu electricitate de același fel.

Faptul că particulele care constituie razele catodice pleacă de la catod arată că ele poartă sarcini negative.

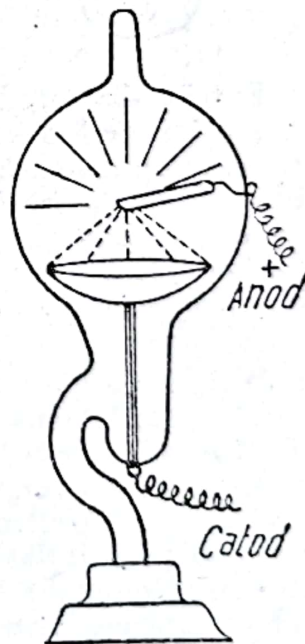


Fig. 501—Încălzirea puternică a unui fir de platină în focarul catodului.

Jean Perrin a verificat în modul următor că aceste sarcini sînt negative: el a primit fasciculul catodic într-un cilindru Faraday aflat în interiorul tubului Crookes și legat cu ajutorul unui conductor de un electroscope cu foițe de aur. Acesta se încarcă progresiv cu electricitate negativă, ceea ce este ușor de recunoscut. Pentru a evita influențele electrostatice, cilindrul lui Faraday este înconjurat de un al doilea cilindru, legat la pămînt; orificiul pe unde intră razele catodice este închis cu o foaie metalică foarte subțire (fig. 502).

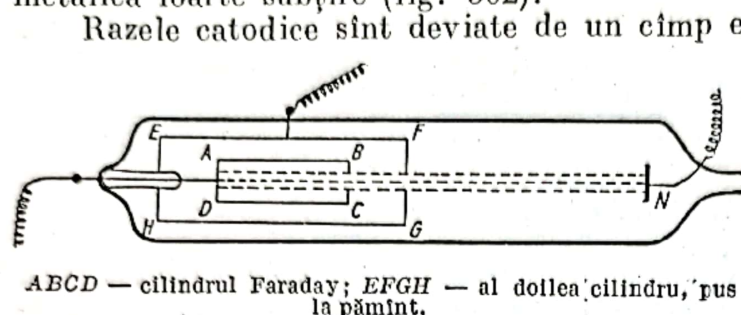


Fig. 502 — Experiența lui Perrin.

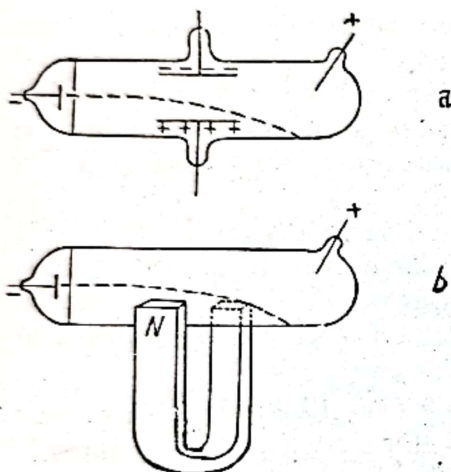


Fig. 503—Devierea fasciculului catodic de un câmp electric (a) și de un câmp magnetic (b).

Razele catodice sînt deviate de un câmp electric. Introducînd în tub armăturile unui condensator, se constată că fasciculul de raze catodice se îndreaptă spre armătura pozitivă (fig. 503a). Razele catodice sînt de asemenea deviate de un câmp magnetic (fig. 503b). Sensul devierii este cel arătat de legile electromagnetismului, fluxul catodic comportîndu-se ca un curent electric care se îndreaptă (după sensul convențional) spre catod.

Toate aceste experiențe, rămase clasice, jalonează dezvoltarea istorică a cunoștințelor în domeniul fizicii atomice; ele sînt de o importanță științifică deosebită, fiindcă ele au determinat o cotitură în concepția noastră despre materie.

Particulele catodice au fost numite de J. Stoney, în 1897, electroni. Din studiul deviației particulelor catodice într-un câmp electric și într-un câmp magnetic, s-a dedus că raportul e/m dintre sarcina electrică a electronului și masa acestui corpuscul este constant, oricare ar fi modul de producere a razelor catodice. Valoarea acestui raport este

$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^8 \text{ coulombi/gram.}$$

Ea se regăsește pretutindeni unde iau naștere particule catodice negative, de exemplu: în efectul termoelectric (Edison), în efectul fotoelectric (Stoletov). S-a dovedit astfel că electronul este o particulă care intră în constituția materiei.

Dacă se ia pentru e valoarea celei mai mici sarcini electrice care poate exista în mod izolat, sarcina unui atom monovalent în electroliză, adică $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulombi, se găsește că masa electronului are o valoare aproximativ egală cu $1/1840$ din masa atomului de hidrogen, așa cum am mai arătat.

Viteza particulelor catodice depinde în primul rînd de tensiunea care există între electrozi. Pentru un tub Crookes obișnuit, viteza electronilor

este cuprinsă între 50 000 și 200 000 km/s. Producând electroni prin efectul termoelectronic, în vid foarte înaintat, și avînd la electrozi aplicată o tensiune de 250 kV, se ajunge la o viteză a electronilor de 250 000 km/s, care se apropie de viteza luminii.

4. TUBURI CATODICE

De la descoperirea lui Crookes și pînă în prezent s-au construit nenumărate tipuri de tuburi electronice. În toate aceste tuburi, electronii emiși de catod au rolul de a stabili un curent electric. Astăzi se fabrică sute de tipuri de tuburi electronice, în mii de variante, cu nenumărate întrebuințări în toate domeniile științei și tehnicii.

Tuburile catodice sînt tuburi electronice de tip special. Primul tub catodic cu aplicații practice a fost tubul pentru producerea razelor Röntgen.

În afară de tuburile Röntgen, care vor fi descrise pe larg într-un capitol deosebit, și în afară de tuburile electronice pe care le-am descris pînă acum în diferitele capitole (dioda, trioda), interesează în studiile medicale două aparate catodice de cea mai mare însemnătate pentru cercetarea științifică: oscilograful catodic și microscopul electronic. Ele vor fi descrise succint în cele ce urmează.

a) **Oscilograful catodic.** Oscilograful catodic este folosit în cercetările de electrofiziologie, la unele aparate medicale de înregistrare a curenților biologici, cum sînt electrocardiograful modern, electroencefalograful etc. În tehnică, oscilograful catodic este utilizat la reprezentarea directă a curbelor de variație a curenților alternativi de joasă frecvență și de înaltă frecvență; principiul acestui tub catodic este utilizat în posturile de recepție de televiziune, de radiolocație etc. Cu acest aparat se înregistrează fenomenele cele mai rapide, aplicînd proprietatea fasciculului de raze catodice de a fi deviat de un cîmp electric sau de un cîmp magnetic. Oscilograful catodic are drept organ mobil, care urmărește variațiile de curent, fasciculul catodic, care este lipsit, practic, de inerție.

Oscilograful catodic (fig. 504) este compus dintr-un tub de sticlă cu vid înaintat, în care se află un catod K și un anod A în formă de cilindru, cu o deschidere mică în interior. Tubul de sticlă are în general formă de pîlnie. În unele tuburi, după ce s-a scos aerul aproape complet, se introduce un gaz inert: argon, xenon, kripton, în cantitate foarte mică (presiune $5 \cdot 10^{-3}$ torr).

Pe peretele anticatodic E al tubului se aplică o substanță care devine fluorescentă sub acțiunea razelor catodice: sulfură de zinc, fosfat de zinc. Acest perete constituie ecranul oscilografului catodic. Dacă se aduce filamentul catodic K la incandescență, cu ajutorul unei surse de 4—5 V, catodul începe să emită electroni. Anodului i se aplică o tensiune de 1 000 — 5 000 V. Electronii emiși de catod se îndreaptă spre anod, formînd curentul anodic. O parte din electronii fluxului catodic trec prin deschizătura cilindrului anodic și își continuă drumul cu o viteză constantă sub forma unei raze subțiri, pînă ce ating ecranul E .

Punctul unde această rază atinge ecranul devine luminos. Punctul luminos (spotul) capătă diferite culori, după substanța fluorescentă cu care este acoperit ecranul. Spotul se poate vedea din exterior. Cu cît fluxul electronic care trece prin mica deschidere din interiorul anodului este mai dens, cu atît spotul este mai luminos. De aceea, emisiunea de electroni a catodului trebuie să se concentreze spre deschiderea din interiorul anodului. În acest scop se folosesc electrozi auxiliari.

În jurul catodului se află un cilindru metalic G , numit grilă, alimentat cu un potențial negativ, a cărui valoare este cam a 10-a parte din potențialul anodic și care servește drept electrod de comandă a intensității luminoase a spotului. Aplicând un potențial negativ suficient de mare acestei grile putem stinge complet spotul luminos.

În interiorul tubului, în calea razei catodice după ieșirea din anod, se află condensatorul, format din două plăci orizontale P_0 , numite și plăci de deviație. Dacă se aplică acestor plăci o diferență de potențial continuu

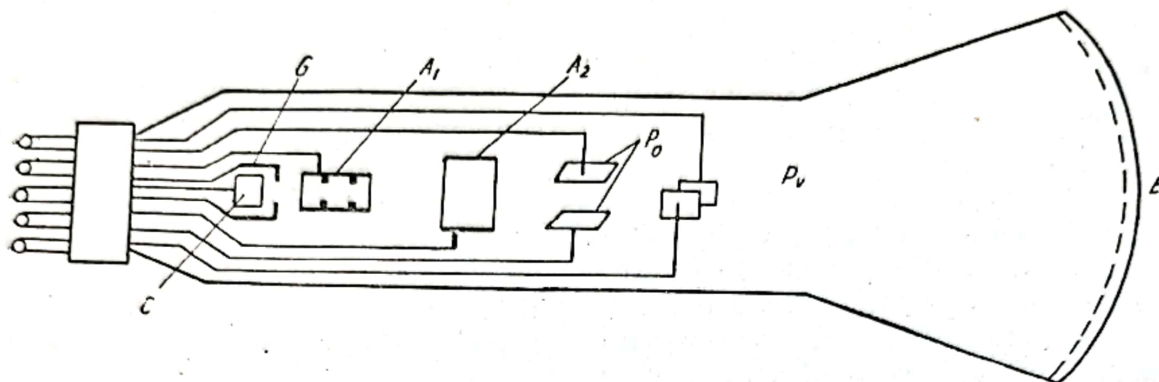


Fig. 504 — Oscilograf catodic (schemă).

de câteva zeci de volți, raza electronică va fi deviată de câmpul electrostatic creat între plăci. Dacă placa superioară este pozitivă, fasciculul electronic deviază spre ea, așa că spotul luminos va fi deplasat pe ecran în sus; dacă placa inferioară este pozitivă, spotul se va deplasa în jos. Această deviere este proporțională cu tensiunea aplicată plăcilor P_0 . Dacă în locul unui curent continuu aplicăm condensatorului P_0 un curent alternativ, spotul se deplasează în sus și în jos necontenit și, dacă frecvența curentului este mare, atunci, în locul unui punct care se deplasează în sus și în jos, avem o linie luminoasă, din cauza persistenței imaginii luminoase pe ecranul fluorescent și mai ales pe retină. Jumătate din lungimea liniei luminoase de pe ecranul fluorescent al tubului catodic reprezintă mărimea amplitudinii curentului alternativ aplicat plăcilor orizontale.

În tub se mai află și două plăci de deviație verticale P_v . Aplicând o tensiune continuă acestor două plăci, spotul luminos se va deplasa la dreapta sau la stînga, după cum placa din dreapta sau cea din stînga este pozitivă. În cazul cînd tensiunea aplicată plăcilor P_v este alternativă, spotul luminos se va deplasa pe ecran formînd o linie luminoasă orizontală, cu totul similară celei verticale care s-a produs datorită plăcilor orizontale.

În general, diferența de potențial pe care vrem s-o examinăm o aplicăm plăcilor P_0 . Pentru a desfășura mișcarea rectilinie a spotului și a o obține sub forma unei sinusoide, se aplică o diferență de potențial de formă specială; prin combinarea celor două mișcări ale spotului obținem astfel pe ecranul fluorescent o curbă analogă celei obținute prin înregistrarea grafică.

Oscilografatul catodic poate urmări oscilațiile electrice de înaltă frecvență, pînă la milioane de Hz. Cu acest aparat se pot analiza, cu fidelitate și fără inerție, fenomenele electrice care însoțesc actele fiziologice: curenții inimii, ai creierului etc. Curbă poate fi examinată vizual sau poate fi fotografiată pe un film.

Cu oscilografatul catodic se poate determina frecvența necunoscută a unei oscilații electrice cînd dispunem de o oscilație cu frecvența cunoscută,

fiecare din cele două oscilații fiind aplicată uneia din perechile de plăci. Observarea figurilor trasate pe ecran de spotul luminos permite determinarea frecvenței oscilației necunoscute. Pe ecran iau naștere figurile lui Lissajous drept rezultat al compunerii a două mișcări perpendiculare de perioade diferite (cum s-a arătat și în partea de „Acustică” a cărții de față).

În locul celor două perechi de plăci care produc câmpul electric, unele oscilografe lucrează cu un câmp magnetic creat de două perechi de solenoizi așezați de asemenea perpendicular și funcționând în mod similar plăcilor de deviație descrise mai înainte.

b) Microscopul electronic.

Microscopul electronic a corespuns unei nevoi care s-a resimțit pe măsura dezvoltării tehnicii de laborator. În folosirea acestui aparat se înlocuiesc razele de lumină din microscopul obișnuit cu un fascicul de electroni, în scopul de a mări puterea separatoare a aparatului, care am arătat că este limitată la microscopul optic de fenomenele de difracție, legate de faptul că lungimea de undă a luminii în care se lucrează este mai mare decât obiectul de examinat (microbi, virusuri etc.).

S-a încercat folosirea razelor Röntgen, ale căror lungimi de undă sînt de mii de ori mai mici decât cele ale luminii vizibile. Razele X, deși au caracter electromagnetic, ca și lumina, nu pot fi totuși refractate, în condițiile necesare obținerii unei imagini mărite.

Astfel, s-a ajuns la ideea folosirii unui fascicul de particule catodice. În mecanica ondulatorie se arată că electronii sînt legați de o undă cu $\lambda = 0,05 \text{ \AA}$, deci de 100 000 de ori mai mică decât lungimea mijlocie de undă a luminii vizibile. Puterea separatoare teoretică a unui microscop electronic este deci considerabilă față de cea a microscopului optic obișnuit.

S-a constatat că, dacă un fascicul îngust de electroni, care provine de la o sursă punctiformă, traversează o bobină inelară, străbătută de un curent electric, traiectoriile electronice iau o curbă, sub acțiunea câmpului magnetic, astfel încît ele converg într-un punct, care este o adevărată imagine a sursei punctiforme de electroni. Această bobină are astfel un rol analog celui pe care-l are o lentilă optică pentru raze luminoase. Prin combinații

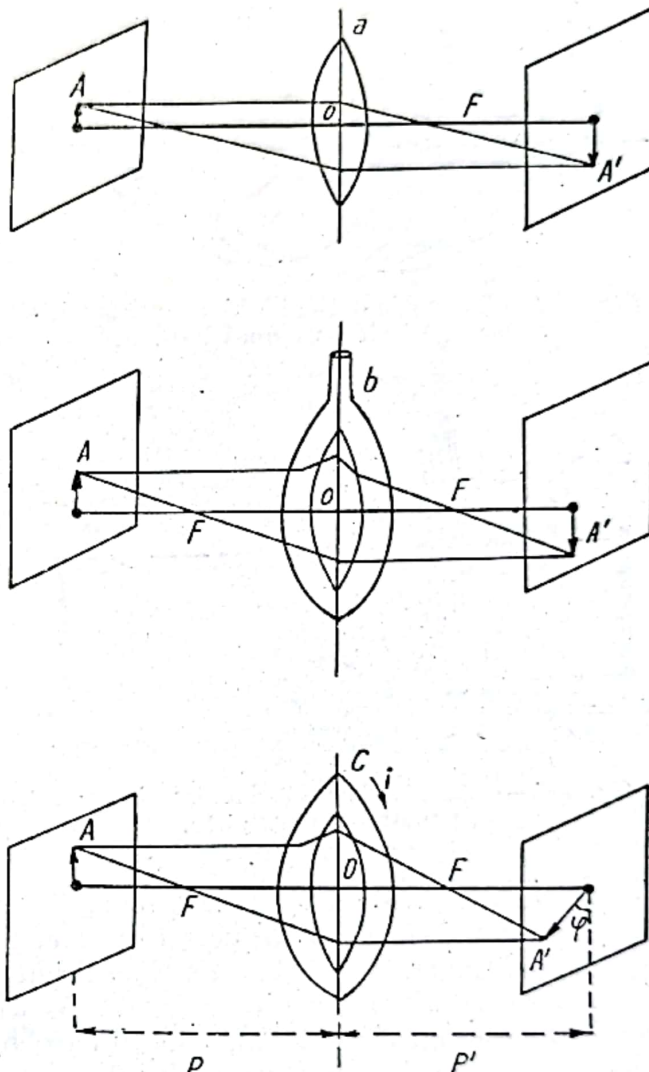


Fig. 505 — Imaginea în lentila optică (a), electrică (b) și magnetică (c).

diferite ale unor astfel de circuite, se poate obține un dispozitiv care să echivaleze cu un întreg sistem optic, de genul celor folosite în microscopie.

Însușirile pe care le are, în acest domeniu, fasciculul de electroni nedă posibilitatea de a construi două feluri de dispozitive, care pot servi drept lentile electronice: lentile electrice și lentile magnetice. În fig. 505 se arată schematic, pentru comparație, comportarea: a) a unei lentile optice (de sticlă) față de un fascicul luminos; b) a unei lentile formată dintr-o bobină inelară încărcată electrostatic, față de un fascicul de electroni; c) a unei

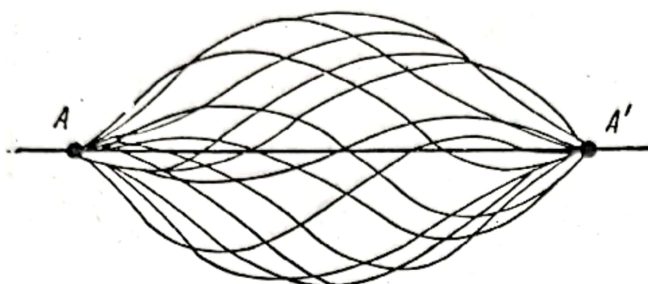


Fig. 506 — Refracția helicoidală a unui fascicul electronic prin axa unei bobine.

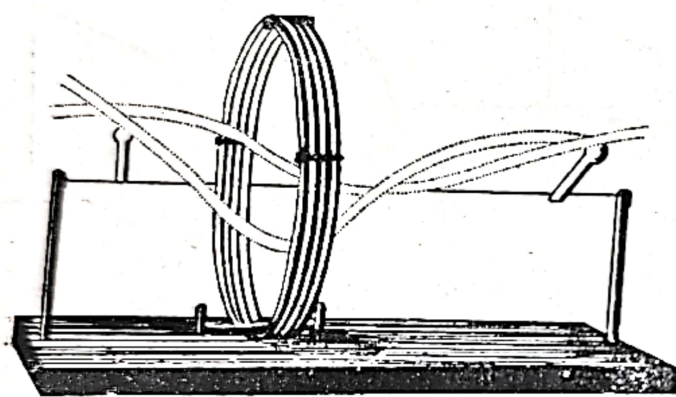


Fig. 507 — Imaginea în câmpul magnetic omogen al unei bobine scurte.

lentile magnetice, formată dintr-o spirală traversată de un curent circular, față de un fascicul de electroni. Imaginea optică și cea dată de inelul încărcat electrostatic sînt asemănătoare și se află în același plan; în cazul lentilei magnetice, imaginea este însă rotită. Experiența arată că fasciculul electronic care trece prin axa unei bobine traversate de curent, deci printr-un câmp magnetic, este refractat și răsucit helicoidal (fig. 506), devenind, în raport cu intensitatea câmpului, mai mult sau mai puțin convergent. Cu o bobină scurtă, în care câmpul magnetic este omogen (fig. 507), se formează o imagine ca în lentilele optice, însă rotită cu un unghi φ în jurul axei.

Pe acest principiu s-au construit lentile de tip mag-

netic foarte convergente. Aceste lentile, utilizate în microscopul electronic, au atins un înalt grad de perfecționare. Ele sînt alcătuite din poli magnetici, fabricați din oțel special, de formă, în general, conică.

Microscopul electronic este compus din următoarele părți principale: catodul care emite electroni, anodul care accelerează electronii, lentila electrică condensatoare, camera (ecluza) cu obiectul, obiectivul, lentila de proiecție, camera de observație cu ecran fluorescent sau placă fotografică. Aparatul are diferite accesorii necesare unei bune funcționări, ca: pompa de făcut vid înalt pentru ecluza în care se introduce obiectul de examinat, sursa de curent de tensiune înaltă, stabilizatorii de tensiune etc.

Reprezentarea schematică, comparativă, a microscopului electronic atît electrostatic, cît și magnetic, arată analogia cu microscopul optic, de proiecție (fig. 508). Ca sursă de electroni se utilizează un catod incandescent de construcție analogă catozilor tuburilor electronice. Un cilindru și un anod puternic încărcăți pozitiv măresc viteza electronilor, strîngîndu-i într-un fascicul îngust, concentrat de lentila condensatoare. Fasciculul de electroni, alcătuit din raze aproape paralele, străbate vidul din camera obiectului și pătrunde în obiectul de examinat, așezat pe un suport de metal. Trecînd prin obiect, radiațiile electronice sînt absorbite în mod diferit

de numărul variabil de atomi care constituie diferitele părți ale obiectului. Electronii care nu sînt absorbiți și traversează obiectul pătrund în lentila obiectivă, așezată imediat sub obiect. Această lentilă va forma, la o distanță oarecare, prima imagine electronică; această imagine intermediară este cam de 100 de ori mai mare decît obiectul.

Imaginea intermediară este reluată de lentila de proiecție (analogă ocularului microscopului optic), care mărește și ea de 100 de ori, proiectînd imaginea nouă pe ecranul fluorescent, unde o putem observa sau fotografia. Imaginea finală este deci de 10000 de ori mai mare decît obiectul. Imaginea finală este atît de clară, încît mai poate fi mărită fotografic de 10 ori, relevînd detalii și mai multe. Se realizează astfel o fotografie care este de 100 000 de ori mai mare decît obiectul. În fig. 509 sînt redată două fotografii mărite de 24 000 ori și de 30 000 ori, obținute cu microscopul electronic.

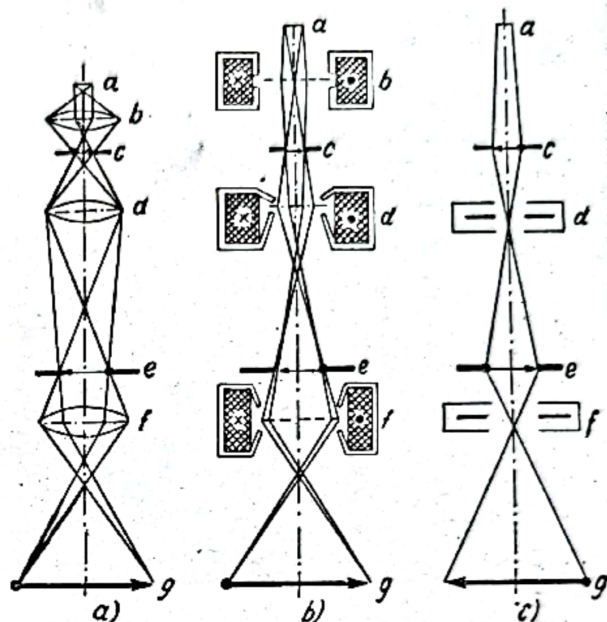
Razele electronice fiind ușor absorbite și deviate prin ciocnirea cu moleculele de gaz, microscopul electronic lucrează cu un vid înaintat care poate atinge 10^{-8} torr. În principiu, microscopul electronic nu este decît altceva decît un tub catodic cu vid înaintat, de tip special.

Pentru a păstra vidul ridicat al aparatului, obiectele și plăcile fotografice se introduc în aparat prin intermediul unor ecluze.

Acestea limitează niște spații cuprinse între două porțițe mobile care se pot închide ermetic. Se introduce obiectul de examinat în ecluză, la presiunea atmosferică, apoi se face vid în acest spațiu. De aci obiectul este introdus automat în aparat, fără ca vidul acestuia să sufere (fig. 510).

Aplicații în biologie. Întrebuințările microscopului electronic sînt numeroase și variate. În cercetările de biologie, histologie, microbiologie și inframicrobiologie etc., mai mult decît microscopul optic și decît ultramicroscopul, microscopul electronic aduce servicii foarte mari. Celulele canceroase au arătat la microscopul electronic o structură particulară a protoplasmului, în formă de fagure de miere. Cercetările bacteriologice au pus în evidență unele detalii ale caracterelor morfologice ale bacteriilor (cili, flageli).

Unul din rezultatele cele mai importante ale aplicării microscopului electronic constă în confirmarea existenței virusurilor, considerate multă vreme ca simpli fermenți (substanțe chimice, lipsite de viață). Astăzi se cunosc imaginile electronice ale multor ultravirusuri. După ce virusurile au devenit astfel vizibile, s-a putut studia posibilitatea de a se urmări acțiunea diferitelor substanțe medicamentoase asupra lor. Cercetătorii sovietici au urmărit acțiunea unor seruri asupra mozaicului tutunului și al plăgilelor roșii.

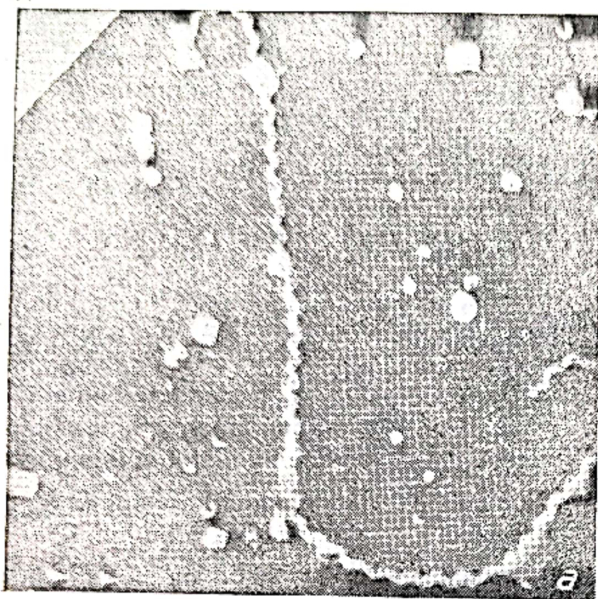


a — sursa de lumină sau de electroni; b — condensator; c — obiect; d — obiectiv; e — imagine intermediară; f — lentile de proiecție; g — imaginea finală.

Fig. 508 — Schema formării imaginii în microscopul optic (a), în microscopul electronic magnetic (b) și în microscopul electronic electrostatic (c).

Cu ajutorul microscopiei electronice, biologia ajunge la granița care desparte, în cunoștințele noastre, lumea vie de lumea lipsită de viață și arată că această graniță nu este o prăpastie de netrecut.

Microscopul electronic (fig. 511 și fig. 512) este folosit și în celelalte domenii de activitate. El este un instrument de cercetare fină în metalurgie, unde este folosit pentru studiul micrografic al suprafețelor diferitelor piese metalice. Microscopul electronic permite cercetarea texturii metalelor,



Imagine obținută cu microscopul electronic EM3—1951 (fotografie originală din colecția Institutului „Dr. I. Cantacuzino” București).

Fig. 509 a — *Leptospira icterohemoragica*, mărită de 30.000 (metalizată cu aur).



Fotografie originală din colecția Institutului „Dr. I. Cantacuzino”, realizată cu microscopul electronic EM3—1951.

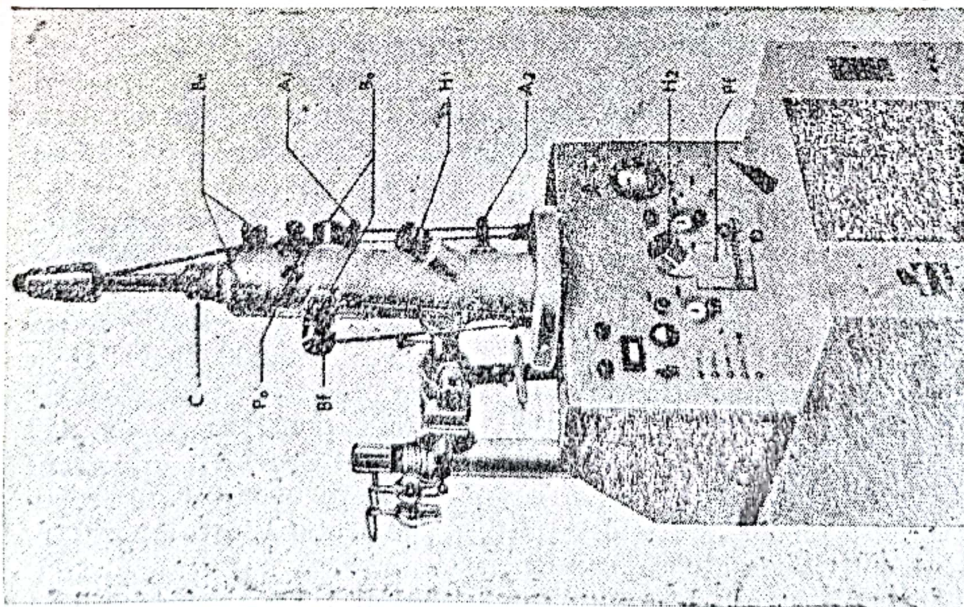
Fig. 509 b — Bacterie sporulată din sol (spori, bacterie distrusă, bacterie normală, cili), mărită de 24.000 ori (metalizată cu aur).

mărită de 20 000 de ori. Metoda se pretează la studiul aliajelor și al transformărilor la temperaturi de peste 1 000°, ceea ce este imposibil cu microscopul optic. Examenul catodilor incandescenti a dat rezultate foarte interesante. S-au putut observa imagini electronice, corespunzând unei structuri cristaline, ceea ce a dus la interpretări științifice asupra distanței atomilor în planul de clivaj al cristalelor.

Pentru a face vizibile unele particule se folosește, atât în metalurgie, cât și în cercetarea biologică, metoda umbrelor obținută printr-o pulverizare metalică. Un fascicul subțire de metal pulverizat cade în vid; sub un anumit unghi, deasupra obiectului de examinat. Atomii de metal, căzând oblic, reliefează mai accentuat unele porțiuni de partea de unde vine metalul pulverizat; partea opusă rămâne nemetalizată. Comparând raza de metal pulverizată cu o rază de lumină, particulele de partea metalizată sint „illuminate” în timp ce de partea opusă sint „umbrite”, adică nemetalizate. Se întăresc astfel contrastele și se pot obține imaginile corpurilor care altfel nu s-ar putea examina la microscopul electronic.

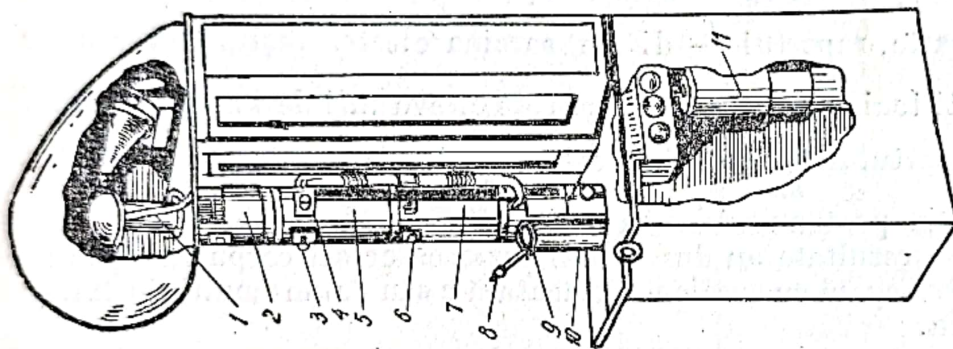
C. RAZELE ANODICE

Într-un tub Crookes există un câmp electric foarte intens în jurul catodului, toate celelalte regiuni ale tubului aflându-se la potențialul anodului. Căderea de potențial catodică mobilizează



C — Sursa de electroni; P_0 — ecluza pentru introducerea obiectului și a celei finale; P_f — deschidere pentru introducerea aparatului fotografic.

Fig. 510 — Microscop electrostatic C.S.F.



1 — Sursa de electroni; 2 — lentila convergentă; 3 — fereastră pentru obiectul de studiat; 4 — ecluza paratului; 5 — lentila obiectivă; 6 — observarea imaginii intermediare; 7 — lentila proiectoare; 8 — microscop optic; 9 — observarea imaginii finale; 10 — dispozitiv pentru evacuarea aerului.

Fig. 511 — Coloana microscopului electronic.

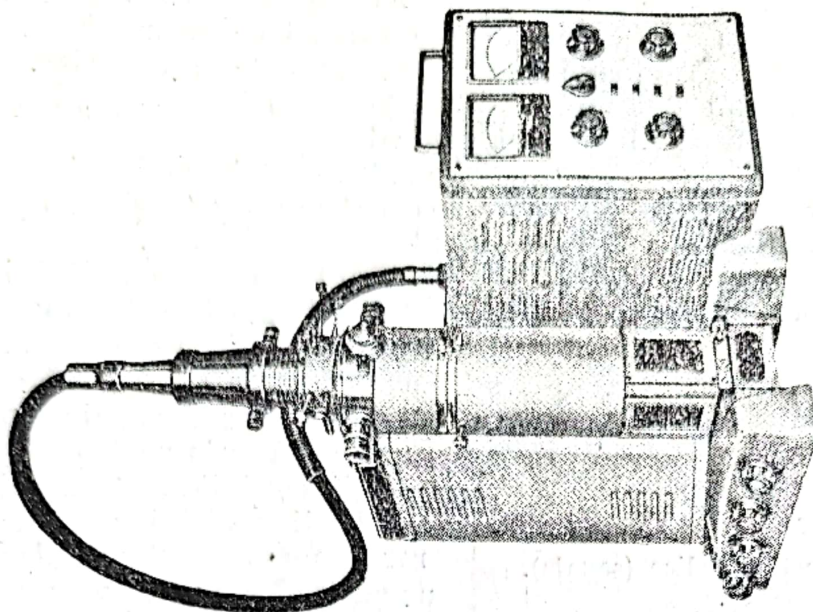


Fig. 512 — Microscop electronic de masă, Tesla BS-240.

ionii pozitivi gazeși care se precipită spre catod, constituind astfel un flux de particule care vin spre catod. Aceste fluxuri au primit denumirea de raze anodice, întrucât ele circulă în sens contrar razelor catodice.

Razele anodice nu sînt vizibile decît în anumite condiții, de exemplu dacă se utilizează un catod perforat (fig. 513).

Se observă astfel fascicule care corespund diferitelor orificii (canale); razele anodice atrase de catod au traversat canalele acestuia și s-au propagat înapoia catodului, ionizînd puternic gazul rezidual din tub.

Aceste raze anodice, numite și raze canal din cauza modului lor de producere (sau raze Goldstein, după cercetătorul care le-a descoperit), sînt

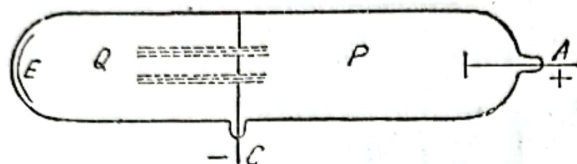


Fig. 513 — Razele anodice (canale).

constituite din particule încărcate cu electricitate pozitivă. Sarcina lor se poate verifica prin experiența făcută de Perrin pentru verificarea naturii sarcinii electronului.

Ionii pozitivi care alcătuiesc razele anodice sînt și ei deviați de un cîmp electric sau magnetic, însă

în sens contrar razelor catodice. Aceste devieri se pot măsura; un cîmp de valoare cunoscută permite să se calculeze, pe de o parte, viteza particulelor, iar pe de altă parte, raportul $\frac{e}{m}$ dintre sarcina electrică și masa acestor particule. Acești ioni pozitivi au o viteză de cîteva mii de km pe secundă, iar valoarea raportului $\frac{e}{m}$ este de același ordin de mărime ca raportul mărimilor analoge pentru un ion electrolitic.

Toate aceste rezultate au dus la concluzia că acești corpusculi poartă o sarcină pozitivă egală cu sarcina elementară e sau cu un multiplu întreg (mic) al acesteia.

V. RAZELE RÖNTGEN

A. BAZELE FIZICE ALE RADIOLOGIEI

Cea mai importantă consecință a descoperirii razelor catodice pentru tehnică, pentru cercetarea științifică, dar în deosebi pentru medicină, a fost descoperirea razelor Röntgen.

W. Röntgen, lucrînd cu un tub Crookes, căruia i-a aplicat o tensiune înaltă, a observat, în 1895, că un cristal de platinocianură de bariu, aflat lângă tub, devine luminos chiar dacă tubul este închis într-o cutie de carton cu pereții căptușiți cu foite subțiri de cositor sau chiar dacă între tubul Crookes și cristalul de platinocianură de bariu se află o carte de 1000 de foi ori o scîndură groasă. Ținînd mîna între tub și un ecran acoperit cu un strat de platinocianură de bariu, el a obținut umbra scheletului mîinii pe ecranul devenit fluorescent în bătaia radiațiilor emise de tubul Crookes; înlocuind ecranul cu o cutie închisă de carton sau de lemn în care avea o placă fotografică neimpresionată de lumină, Röntgen a obținut, după dezvoltarea și fixarea clișeului, o fotografie a oaselor mîinii.

Röntgen a dedus că razele care pornesc din tubul Crookes și trec prin lemn, carton, carne, foite subțiri de metal și se opresc la oase, se produc ori de cîte ori razele catodice sînt frîmate de un anumit obstacol. A construit apoi

un tub Crookes în care a introdus o oglindă anticatodică plană, înclinată cu 45° pe drumul rectiliniu al fascicului catodic, și a obținut astfel radiațiile pe care le-a numit la început *raze X*, din cauză că nu cunoaștea precis natura lor; aceste radiații au fost numite ulterior *raze Röntgen*, în cinstea descoperitorului lor; tubul Crookes cu anticatod a devenit astfel tubul Röntgen.

Deși descoperite relativ recent, razele Röntgen au făcut obiectul a foarte numeroase cercetări; ele sînt întrebuintate pe o scară foarte întinsă, în diferite domenii și în primul rînd în medicină. O vastă literatură radiologică dovedește atenția dată de cercetători acestui important factor științific, tehnic și medical, descoperit la sfîrșitul secolului trecut.

Natura razelor Röntgen și proprietățile lor au fost determinate în amănunțime, așa că astăzi aceste raze sînt bine cunoscute și aplicațiile lor se fac pe baze științifice.

1. NATURA RAZELOR RÖNTGEN

Electronii emiși cu o viteză considerabilă de catodul tubului Crookes sînt frînați brusc de obstacolul pe care îl reprezintă anticatodul; această frînare face să ia naștere razele Röntgen.

Această radiație este analogă radiațiilor luminoase.

Proprietățile optice ale razelor X arată că acestea se deosebesc de lumina obișnuită doar prin lungimea lor de undă, care este foarte mică. Gama undelor electromagnetice cunoscute se întinde continuu de la undele extrem de lungi (care corespund unui curent continuu), pînă la undele a căror lungime este de miimi de angström (razele X, razele γ).

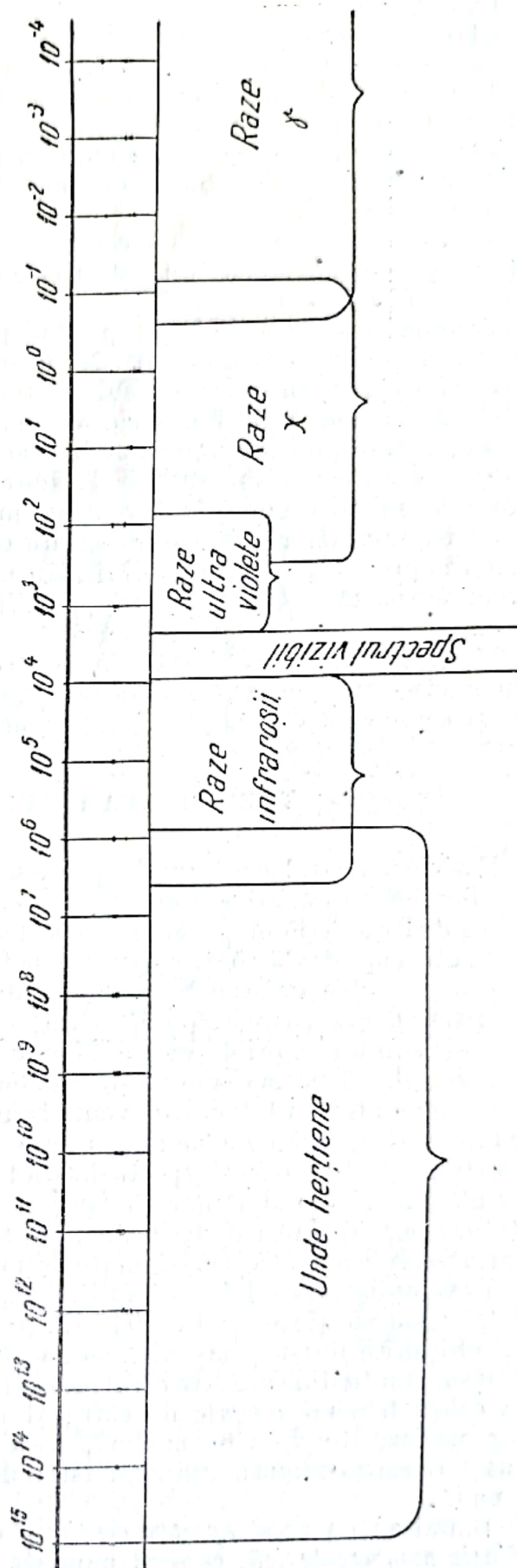


Fig. 514 -- Gama undelor electromagnetice.

Lungimea de undă a razelor X este de sute și mii de ori mai mică decât cea a luminii vizibile; se produc însă și raze X care au o lungime de undă mult mai mare. Acestea din urmă pot fi observate mai greu, din cauză că sînt foarte ușor absorbite de toate corpurile, apropiindu-se în această privință de radiațiile ultraviolete cu lungime de undă mai scurtă. Între razele Röntgen de lungime de undă mare și razele ultraviolete cu unda foarte scurtă nu există altă deosebire decât modul de excitare a atomilor care produc aceste radiații.

Tot așa cum, în dezvoltarea cercetărilor, s-a împlinit golul dintre undele herțiene și cele infraroșii, tot astfel este umplută și distanța dintre razele X și cele ultraviolete.

Trebuie arătat tot aici că, aplicînd potențiale acceleratoare mari, cum vom vedea, putem obține radiații X cu unde foarte scurte (numite și raze X foarte dure). Razele γ emise de substanțele radioactive și care sînt de aceeași natură ca și razele X au lungimea de undă și mai mică. Substanțele radioactive emit raze γ de lungimi de undă foarte diferite. Astfel, poloniul emite raze γ care au caracterul razelor X dure, pe cînd cele emise de toriul C au lungimea de undă de sute de ori mai mică.

La trecerea unor raze cosmice, care constituie un torent de corpuscule cu viteza apropiată de cea a luminii, iau naștere raze γ de lungime de undă extrem de scurtă. Nu este exclusă posibilitatea existenței unor unde și mai scurte.

Diagrama din fig. 514 arată în angströmi întreaga gamă a undelor electromagnetice cunoscute; din această diagramă reies domeniile de acoperire, cum și caracterul convențional al împărțirii radiațiilor electromagnetice.

2. EMISIUNEA RAZELOR RÖNTGEN

Emisiunea razelor Röntgen se poate studia supunînd radiațiile date de un tub Röntgen unei analize asemănătoare cu analiza spectrografică a luminii; această analiză se numește analiză spectrală röntgenografică.

Analiza spectrală röntgenografică se face în modul următor: se reflectă un fascicul îngust de raze X pe o lamă de cristal, căreia i se dă, printr-un mecanism adecvat, o rotire permanentă, așa încît fasciculul Röntgen să cadă pe cristal sub un unghi de incidență care să aibă mereu altă valoare. Fasciculul se reflectă pe mai multe straturi cristaline și, dacă primim radiația reflectată pe un film fotografic, vom obține o impresiune continuă a emulsiiei fotografice, însă cu zone mai intense și zone mai puțin intense. La una din extremitățile filmului, spectrul astfel obținut se pierde prin estompare; aci sînt impresiile radiațiilor cu lungime de undă mare. La cealaltă extremitate, spectrul este net delimitat, aci sînt lungimile mici de undă. Aparatul descris schematic mai înainte se numește spectrograf pentru raze X.

Developînd, fixînd și copiind filmul, obținem *spectrul de fond* al razelor Röntgen, numit și *spectrul de frînare*. Acest spectru care ia naștere în condiții obișnuite într-un tub Röntgen, la frînarea electronilor prin ciocnirea lor cu substanța din care este construit anticatodul, are un caracter continuu. Din cauza frînării inegale de către atomii anticatodului, viteza electronilor variază în diferite moduri, ceea ce explică de ce radiația care ia naștere este compusă dintr-un ansamblu de radiații de diferite lungimi de undă.

Simultan cu acest *spectru continuu al radiației totale*, se observă și o *radiație monocromatică*, care se numește *radiație caracteristică*.

Dacă în locul filmului fotografic primim fasciculul reflectat într-un aparat numit spectrometru pentru raze X (format dintr-o cameră de ionizare și un electrometru), putem măsura energia radiantă a diferitelor regiuni ale spectrului și putem alcătui astfel o curbă de repartiție a energiei în funcție de lungimea de undă.

Lungimea de undă minimă este legată de tensiunea aplicată la electrozii tubului Röntgen, printr-o lege descoperită în 1915 de Duane și Hunt, și care este fundamentală în radiologie: *produsul dintre tensiunea aplicată tubului Röntgen și lungimea de undă minimă a radiației corespunzătoare este constant*. Rezultă de aci că dacă diferența de potențial la electrozii tubului se mărește, lungimea de undă se micșorează.

Curbele obținute cu un tub Röntgen cărui i s-au aplicat progresiv tensiuni de la 30 la 200 kV sînt redată în fig. 515. Curba spectrală a razelor X se termină brusc în partea lungimilor mici de undă. Mărind diferența de potențial, se obține o deplasare a maximumului de energie înspre lungimile mici de undă.

Legea Duane și Hunt, ca și deplasarea maximumului de energie spre lungimile mici de undă, se pot explica ușor aplicînd teoria cuantelor.

La nivelul anticatodului, unde sînt frîmate razele catodice, energia cinetică a electronilor, datorită diferenței de potențial dintre electrozi, se transformă în energie radiantă.

Pentru un electron cu sarcina e care străbate spațiul unde variația de potențial este egală cu V , cîmpul electric furnizează un lucru egal cu eV . Acest lucru este echivalent cu energia cinetică cheltuită și care are valoarea $\frac{m v^2}{2}$ (m reprezentînd masa electronului și v viteza lui). Echivalența se poate scrie sub forma

$$eV = \frac{m v^2}{2}.$$

Energia cinetică nu se poate transforma în energie radiantă, în concepția cuantică, decît prin cantități discrete, care au drept valoare produsul dintre constanta universală h a lui Planck și frecvența ν a radiației.

În cazurile teoretice, cînd energia cinetică a unui electron este transformată integral în radiații X, avem echivalența între energia eV și cuanta $h \nu$

$$h \nu = eV, \quad (1)$$

și cum frecvența ν are, în funcție de lungime de undă, valoarea

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (2)$$

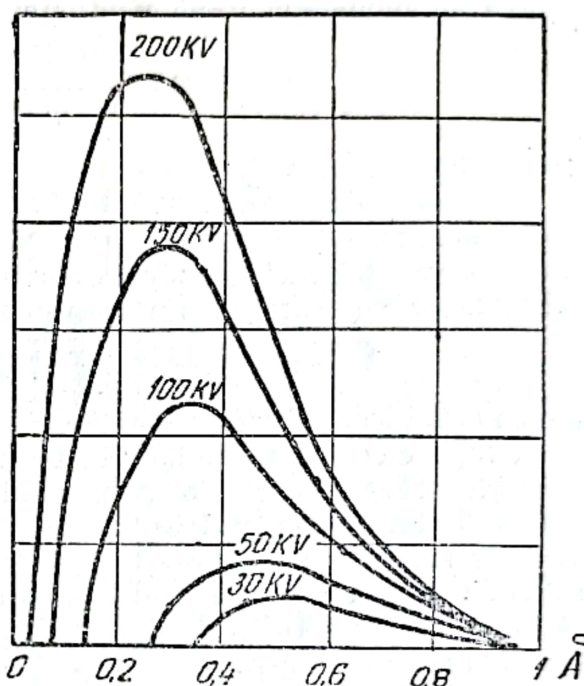


Fig. 515 — Repartizarea energiei în spectrul de fond, la tensiunea de 30—200 kV.

unde c este viteza luminii, putem înlocui în relația (1) de mai sus pe v cu valoarea sa din (2) și obținem

$$\frac{hc}{\lambda} = eV, \quad (3)$$

care se mai poate scrie

$$\lambda = \frac{hc}{eV}. \quad (4)$$

Mărimile h , c și e fiind cunoscute, ele pot fi înlocuite în expresia (4) cu valoarea lor numerică; după efectuarea calculelor, avem:

$$\lambda = \frac{12\,340}{V} \text{ în } \text{\AA} \quad (5)$$

V fiind exprimat în volți.

Relația cuantică (5), pe care am folosit-o și în capitolul „Luminiscenta”, arată că lungimea de undă cea mai mică a radiației produsă de un tub Röntgen este invers proporțională cu diferența de potențial dintre cei doi electrozi ai tubului și că produsul acestor mărimi este constant.

$$\lambda V = 12\,340,$$

așa cum arată legea Duane și Hunt.

De fapt, electronii care își transformă integral energia cinetică în radiație sînt foarte rari, cea mai mare parte a lor fiind frînați la distanțe prea mari de nucleul atomilor anticatodului și astfel nu pot da naștere la raze X. Cea mai mare parte a energiei cinetice a electronilor se transformă în radiații termice. Degajarea de căldură la anticatod este atît de importantă, încît înlăturarea ei constituie o problemă de prim ordin în construirea și manipularea tuburilor Röntgen.

Experiența a arătat că energia totală a razelor care constituie spectrul continuu este direct proporțională cu intensitatea i a curentului care traversează tubul, cu pătratul tensiunii (V^2) de la bornele tubului și cu numărul atomic Z al substanței de la anticatod; această lege experimentală se poate exprima prin formula:

$$E = A \cdot i \cdot Z \cdot V^2,$$

unde A este o constantă.

Energia totală depinzînd de numărul atomic Z , se alege pentru construirea anticatodului o substanță cu un număr atomic mai mare. Cele mai bune materiale sînt: wolframul ($Z = 74$) și platina ($Z = 78$).

Wolframul, deși are numărul atomic mai mic decît platina, are însă punctul de topire mult mai ridicat ($3\,370^\circ$), pe cînd cel al platinei este de $1\,720^\circ$; în afară de aceasta, wolframul are și o conductibilitate termică mai bună decît platina.

Randamentul tubului fiind raportul dintre energia radiațiilor și puterea iV a curentului, vom avea

$$\eta = \frac{A i Z V^2}{i V} = A Z V,$$

de unde rezultă că randamentul crește cu tensiunea sub care funcționează tubul.

Pentru tensiunile de 200—300 kV, cu care se lucrează în clinică, randamentul este foarte mic. La tensiuni apropiate de un milion volți (1 megavolt), randamentul abia atinge valoarea de 1‰

Deplasarea maximului curbei spre originea absciselor are drept consecință faptul că radiațiile se localizează din ce în ce mai mult în regiunea celor mai mici lungimi de undă, deci își pierde caracterul heterogen, lungimile mici fiind preponderente. Faptul este foarte important în radioterapie, unde avem nevoie de unde mici, deci oarecum filtrate de celelalte.

În spectrele de emisiune apar linii caracteristice, în afară de fondul continuu; ele corespund unor radiații monocromatice și sînt de același tip pentru toate elementele. Astfel, o primă grupă corespunde liniilor de lungime de undă mai mică (seria *K*), o a doua grupă corespunde undelor de șapte ori mai lungi (seria *L*), o a treia grupă cuprinde radiațiile de lungime de undă de 5—6 ori mai mare decît cele precedente (seria *M*) și apoi urmează serii de lungime de undă și mai mare (seria *N* și *O*). Fig. 516 reprezintă schema unui spectru de linii în razele X.



Fig. 516 — Schema unui spectru de linii în razele Röntgen.

Cu cît se trece la un element cu un număr atomic mai mare, cu atît liniile spectrale se deplasează spre lungimile de undă mai mici. În fig. 517 se arată schematic cum toate spectrele diferitelor elemente sînt similare. Considerînd cîteva din elementele din clasificarea periodică (în

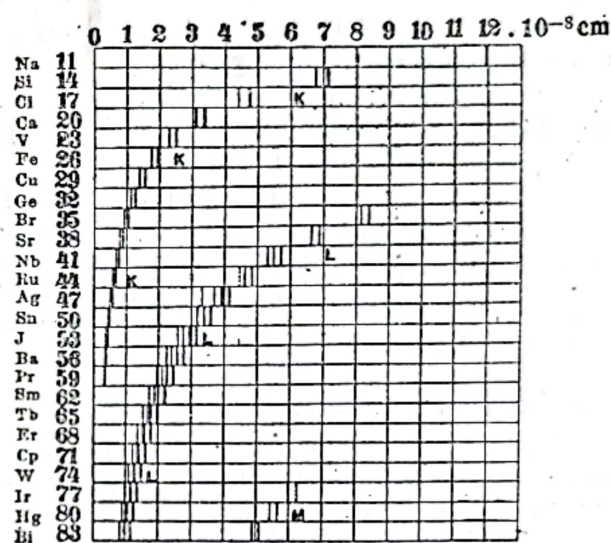


Fig. 517 — Deplasarea liniilor spectrale spre lungimile de undă mai mici cu creșterea valorii numărului *Z*.

stînga se află simbolul și numărul lor atomic *Z*, stabilit în 1914 de Moseley), se vede cum la elementele cu număr atomic mic spectrul este alcătuit mai întîi din două serii de linii, seriile *K* și *L*, pe cînd la cele cu numere atomice mai mari apare seria *M*. Se vede regularitatea cu care liniile *K* și *L* se deplasează spre stînga, pe măsura creșterii numărului atomic al elementului. S-a stabilit de asemenea că rădăcinile pătrate ale diferitelor frecvențe sînt proporționale cu numărul atomic. Relația

$$\sqrt{\nu} = A (Z - n),$$

unde *A* și *n* sînt constante diferite pentru fiecare serie de linii spectrale, se numește *legea lui Moseley*. Ea arată că ordinea de clasificare a atomilor din *tabelul lui Mendeleev* este aceeași ca aceea care se poate stabili prin poziția liniilor spectrale, și că deci numărul *Z* trebuie să corespundă unei variații în proprietățile fundamentale ale atomului.

Interpretarea teoretică a emisiunii caracteristice se poate face cu ușurință admitînd că sub acțiunea unui electron din fasciculul catodic se expulzează unul din electronii sateliți ai atomilor anticatodului. Nivelul de energie din

care a fost extras electronul este cu atât mai apropiat de nucleu cu cât energia electronului excitant a fost mai mare.

Dacă W este lucrul de extracție a electronului din atom, valoarea lui va fi

$$W = eV,$$

și presupunând că L și K sînt nivelurile de plecare și de sosire a electronului deplasat, vom avea:

$$W_K - W_L = h\nu$$

sau

$$\nu = \frac{W_K - W_L}{h} \quad (1)$$

Frecvența radiației va fi deci cu atât mai mare cu cât diferența dintre nivelurile de energie, de plecare și sosire, este mai mare.

Potențialul care corespunde unei atare radiații se poate calcula din expresia

$$eV = W_K - W_L, \quad (2)$$

de unde

$$V = \frac{W_K - W_L}{e}. \quad (3)$$

Această tensiune va fi inferioară tensiunii critice

$$V_1 = \frac{W_K}{e},$$

care corespunde extragerii electronului din stratul K . De aci rezultă că diferența de potențial sub care trebuie să funcționeze un tub Röntgen pentru a excita liniile unei serii este superioară potențialului care corespunde fiecăreia din aceste linii.

În tabelul 48 sînt arătate, pentru cîteva elemente, tensiunile critice în kV ale seriilor K și L , care corespund trecerii electronilor în grupele cele mai apropiate de nucleu.

Tabelul 48

Tensiunile critice pentru seriile K și L ale cîtorva elemente

Elementul	Simbolul	Numărul atomic Z	Tensiunea critică în kV	
			Seria K	Seria L
Plumb	Pb	82	87,6	15,2
Aur	Au	79	80,5	14,4
Platină	Pt	78	78,1	13,9
Wolfram (tungsten)	W	74	69,3	12,1
Argint	Ag	47	25,5	3,8
Molibden	Mo	42	20,0	2,9
Cupru	Cu	29	8,3	—
Nichel	Ni	28	8,2	—
Fier	Fe	26	7,1	—
Crom	Cr	24	6,0	—

3. ÎNSUȘIRILE RAZELOR RÖNTGEN

În condiții favorabile de observație se constată că razele Röntgen prezintă, ca și razele de lumină, fenomene de reflecție, refracție, polarizare și difracție. Aceste fenomene nu se pot observa în aceleași condiții ca și la lumina vizibilă; de aceea s-a crezut multă vreme că ele nu se produc la razele Röntgen.

Propagarea razelor Röntgen. Ca și razele de lumină, razele Röntgen se propagă în linie dreaptă. Viteza acestor raze, în vid, este de aproximativ 300 000 km/s.

b) **Intensitatea radiației** (mai propriu, fluxul de radiație) pe unitatea de suprafață scade cu pătratul distanței de la izvorul punctiform de raze X la corpul iradiat. Această însușire, analogă celei întâlnite în optică (legea Lambert), este fundamentală în radiologia medicală.

c) **Reflecția razelor X.** O suprafață lucioasă obișnuită este prea aspră pentru undele foarte mici ale razelor X. Reflecția acestor raze cere o suprafață ale cărei iregularități să fie mici față de lungimea de undă a razelor incidente. Chiar suprafețele foarte lucioase prezintă pentru razele X neregularități care nu permit o reflecție regulată. Numai o incidență aproape tangențială a razelor poate da o reflecție mai regulată. O asemenea experiență de reflecție în raze Röntgen a fost realizată de Thibaud.

În general, în locul unei reflecții regulate, se produce o reflecție difuză, fiecare atom difuzând în toate direcțiile radiația incidentă. Pentru a obține reflecții regulate, s-a recurs pentru razele Röntgen mai lungi la suprafețe reflectante reprezentate de rețelele plane cristaline, care sînt de ordinul de mărime cerut de lungimea mică de undă a razelor Röntgen.

d) **Refracția razelor Röntgen.** Refracția acestor raze este foarte slabă, din cauză că la unde extrem de mici vitezele în diferite medii sînt aproape egale. Fenomenul se observă greu, deoarece pentru un fascicul de raze X, care traversează substanțe ca aluminiu, ebonita, ceara etc., indicii de refracție este foarte apropiat de unitate, diferența fiind (pentru razele X folosite în medicină) de ordinul unei milionimi.

Cercetări mai recente au arătat experimental că acest indice este subunitar.

A. H. Compton a realizat, în 1923, reflecția totală la suprafața de separare aer-mediu, găsind că unghiul limită de reflecție pentru aer-sticlă este de 11° ; s-a putut astfel determina, după legile opticii geometrice, indicii de refracție al sticlei pentru razele X.

e) **Polarizarea.** Razele Röntgen sînt polarizate prin însuși modul lor de producere. În adevăr, frînarea electronilor în direcția mișcării lor imprimă atomilor anticatodului oscilații în același plan, care cuprinde direcția de propagare.

f) **Difracția radiațiilor Röntgen.** Am arătat în capitolele de „Acustică” și „Optică” că fenomenul de difracție se produce cînd o oscilație electromagnetică traversează deschideri de ordinul de mărime al lungimii de undă a oscilației.

Pentru razele de lumină, studiul difracției se face prin rețele de difracție. În cazul razelor Röntgen, rețelele care se pot realiza trăsînd, cu cel mai perfecționat aparat, dungi pe sticlă sau pe metal, au distanța d dintre două trăsături vecine de mii de ori mai mare decît lungimea de undă a razelor X; difracția nu se poate deci obține cu ușurință. Totuși, în 1925, Compton a reușit să obțină difracția cu o rețea obișnuită avînd 50 de trăsături pe mm, folosind însă o incidență razantă. Thibaud a obținut și el difracția prin

rețele întrebuintând o astfel de incidență, pentru a face ca diferențele de drum dintre undele provenind din elemente difractante vecine să fie foarte mici.

În 1912 a fost creată metoda difracției razelor X prin cristale. Această metodă a permis să se stabilească precis natura fizică a razelor Röntgen și în același timp și structura reticulară a cristalelor. Metoda constituie și modul cel mai ușor de a obține spectrele razelor Röntgen.

Încă din 1850, teoria lui Bravais considera un cristal ca fiind compus din cristale elementare așezate unul lângă altul și formând straturi, care, prin suprapunere, alcătuiesc cristalele. Cristalele elementare au forma geometrică

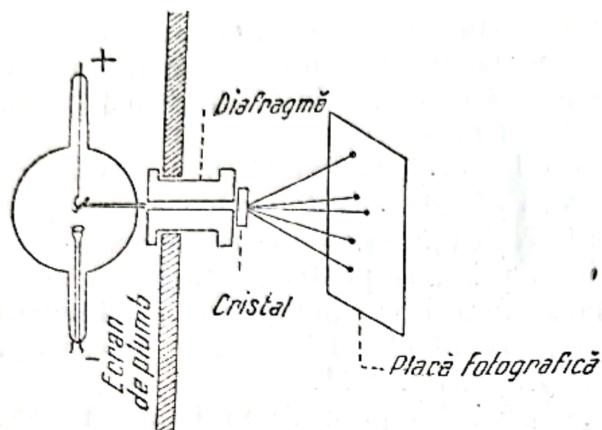


Fig. 518 — Dispozitiv pentru studiul difracției razelor Röntgen prin cristale.

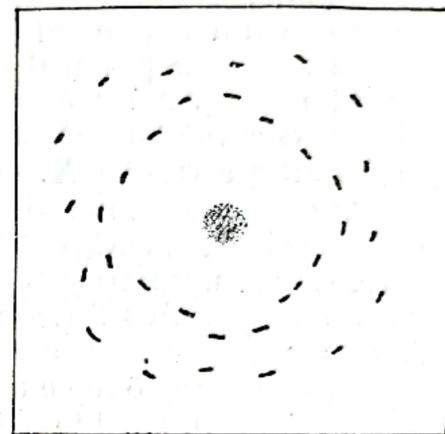


Fig. 519 — Spectru de difracție prin raze Röntgen: cristal de traversat după axa de simetrie cuaternară (Laue).

de cub, prismă dreaptă pătrată, rombică, exagonală etc.

Fiecare paralelipiped elementar are, în colțurile sale, ioni care formează nodurile rețelei, iar spațiile goale dintre ioni formează ochiurile rețelei. Spațiile sînt de ordinul de mărime a angströmului.

Laue emite ipoteza că aceste rețele cristaline pot servi drept rețele de difracție pentru razele X; împreună cu elevii săi, Laue face ca un fascicul Röntgen filiform, cu secțiunea de 1 mm^2 , obținut cu ajutorul unei diafragme de plumb, să cadă normal pe un cristal de blendă (ZnS) de 1 mm grosime; aceste raze, după traversarea blendei, sînt primite pe o placă fotografică (fig. 518) așezată la o mică distanță, înapoia cristalului.

După o expunere de cîteva ore se observă pe lîngă un spot central, care corespunde direcției fasciculului de raze X nedeviate, o serie de spoturi simetrice. Pentru fiecare fel de cristal cu care s-a experimentat, s-a obținut o figură caracteristică. În fig. 519, imaginea obținută de Laue cu o lamă de blendă traversată după axa de simetrie cuaternară prezintă o simetrie cuaternară a spoturilor.

Diagrama obținută de Laue se datorește, evident, unor fenomene de interferență. Acestea se pot explica numai dacă se admite că razele X sînt de natură ondulatorie și că suferă o difracție prin rețeaua spațială ce constituie cristalul. Această rețea are distanța dintre atomi de cîteva angströmi: de exemplu, cristalul de NaCl are distanța d

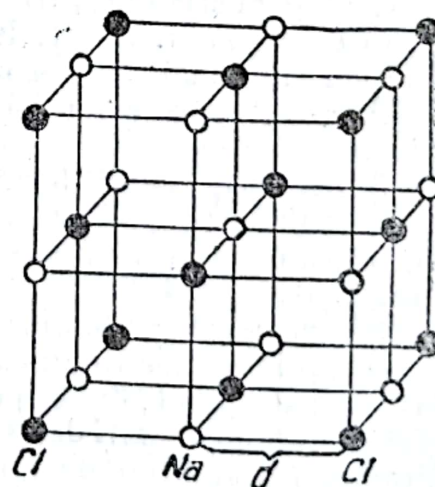


Fig. 520 — Rețeaua cristalină spațială a clorurii de sodiu de $2,81 \text{ Å}$.

între atomii de Na și cei de Cl de 2,81 Å (fig. 520). Presupunînd că ionii așezați în colțurile rețelei cristaline se comportă ca un izvor secundar de raze X, de îndată ce sînt loviți de fasciculul incident, fiecare ion al rețelei devine astfel un centru de difuziune a razelor X; difuziunea fiind excitată de aceeași undă incidentă, oscilațiile sînt coerente. Prin interferență, unde dau maxime în anumite direcții, ceea ce face să apară pe placa fotografică diferiți centri de difuziune. După poziția și intensitatea lor relativă, ne putem face o imagine amănunțită despre distribuția centrilor de difuziune în rețeaua cristalină, precum și despre natura acestor centri (atomi, grupe de atomi, ioni).

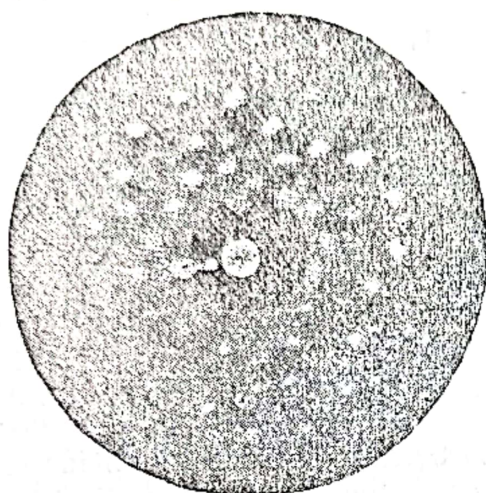


Fig. 521 — Spectrul de difracție al NaCl, pe fața de cub (D. Negru).

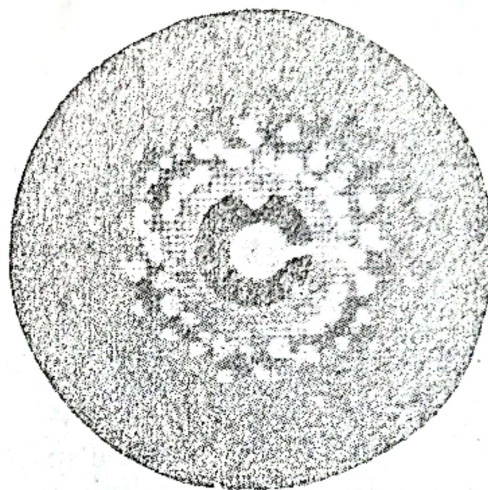


Fig. 522 — Spectrul prin raze Röntgen al ZnS pe fața de dodecaedru romboidal, simetrie binară (D. Negru).

Efectul Laue constituie o dovadă directă a naturii ondulatorii a razelor X și a devenit în același timp și baza studiului experimental al rețelelor cristaline. Metoda este aplicată în ultima vreme și la studiul structurii moleculelor în lichide și chiar în gaze, observîndu-se difracția prin părțile constitutive ale moleculei.

Difracția obținută prin efectul Laue este caracterizată prin faptul că, pentru o anumită distanță d între rețelele plane ale cristalului, maximele care apar pe diferite direcții corespund unor lungimi de undă bine determinate. Dacă asupra cristalului se trimite un fascicul eterogen de raze X (comparabil cu lumina albă formată din diferite lungimi de undă), cristalul dă fenomenul de difracție numai pentru cîteva lungimi de undă bine determinate; el funcționează deci ca un monocromator de raze Röntgen.

Dacă însă fasciculul Röntgen este monocromatic, se obțin maxime numai pentru anumite raporturi între unghiul de incidență, lungimea de undă și distanța dintre plane (constanta d a rețelei). D. Negru a obținut cu o cameră Laue, de construcție proprie, spectre de difracție din care redăm pe cel de NaCl (fig. 521) de simetrie cubică și pe cel de ZnS (fig. 522) pe fața de dodecaedru romboidal, de simetrie binară.

Fenomenul de difracție se obține în condiții mai bune de studiu dacă, în loc de a se primi pe eclișul fotografic fasciculul de raze Röntgen după traversarea prin cristal, se obține fenomenul prin reflecția razelor X pe cristal. În acest scop se lasă să cadă, sub un unghi de incidență convenabil ales, un fascicul de raze X pe o față a lamei cristaline; în acest caz, fiecare din nodurile rețelei va emite radiații de difuziune care, propagîndu-se sub formă de unde sferice, vor putea interfera în anumite direcții.

Metoda difracției prin reflecție a fost imaginată de fizicienii Bragg (tatăl și fiul). Ea se pretează mai ușor la obținerea unor spectre de raze Röntgen.

Pe o suprafață cristalină K , presupusă că este formată dintr-o serie de centrii materiali așezați regulat pe planuri reticulare echidistante (fig. 523), lăsăm să cadă un fascicul de raze Röntgen monocromatice; acest fascicul, care vine din direcția R , printr-o fantă orizontală practică într-o placă de plumb, este format din raze Röntgen coerente, care sînt reflectate spre r , pe o placă fotografică. Raza $R_1 r_1$ are un drum mai lung decît raza Rr , diferența de drum fiind cbe . Dacă această diferență de drum, exprimată prin relația (numită relația lui Bragg):

$$2d \sin \varphi = k \lambda,$$

este un număr întreg de λ (d este distanța dintre planurile reticulare, φ este unghiul de incidență), vom avea în raza reflectată lumină. Pe placa fotografică vom găsi însă pentru rr_1 un efect slab datorită razelor de frinare, care dau un spectru continuu. Dacă facem să crească unghiul φ , apare brusc o

linie luminoasă care aparține spectrului caracteristic. Pentru a obține toate liniile acestui spectru, trebuie să mărim mereu unghiul φ .

Relația lui Bragg, cunoscută și sub numele de *condiția de reflecție* este identică cu formulele stabilite pentru difracția luminii. Această difracție apare în razele Röntgen la fiecare reflecție a lor de fețele cristaline.

Au fost imaginate cîteva procedee pentru realizarea unor maxime de difracție cu ajutorul rețelelor spațiale, pentru diferitele lungimi de undă. Combinația dintre o asemenea rețea spațială și placa fotografică constituie un spectrograf de raze Röntgen, așa cum am mai arătat și la descrierea emisiei razelor X. Fotografia obținută pe filmul care înconjură cristalul iradiat cu raze X se numește spectrogramă Röntgen sau röntgenogramă (uneori impropriu lauegrafie).

Determinarea difracției razelor X se face cu ajutorul unui tub Röntgen care trimite un fascicul filiform printr-o fantă circulară practică într-un ecran de plumb. Fasciculul de raze X cade pe un cristal, care se rotește cu ajutorul unui mecanism adecvat (fig. 524), este difractat, iar spectrul de interferență impresionează un film fotografic așezat în semicerc, avînd cristallul drept centru.

Pentru determinarea lungimii de undă a unui fascicul monocromatic de raze Röntgen, se folosește, fie un cristal, fie o pulbere cristalină asupra căreia se trimite razele Röntgen. Dintre numeroasele cristale foarte mici care constituie pulberea, unele vor fi așezate astfel încît să satisfacă condiția de incidență și difracție din relația lui Bragg.

Această relație permite calcularea lungimii de undă dacă se cunosc valorile φ și d . Unghiul φ se măsoară cu ușurință prin metodele goniometrice obișnuite, iar pentru distanța d există metode de deducere din cunoașterea

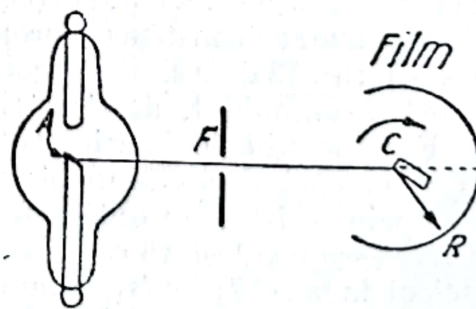


Fig. 524 — Spectrul cristallului în rotație (schemă).

cristalului și din numărul N al lui Avogadro, care dă numărul de atomi conținut într-o moleculă-gram din substanța cristalizată.

În ultimii ani s-au obținut spectrograme Röntgen pentru substanțe care nu sînt cristalizate, cum sînt de exemplu fibre textile naturale, fibre sintetice poliamidice etc.

g) **Luminiscenta prin raze Röntgen.** În afară de proprietățile optice descrise pînă acum, razele Röntgen au o însușire fizică atît de importantă în radiologie, încît ea a determinat apariția metodei de diagnostic numită radioscopie: această însușire este luminiscenta pe care o pot provoca razele X. De altfel, însuși descoperirea razelor Röntgen am văzut că s-a datorit faptului că aceste raze produc fluorescența platinocianurii de bariu ș. a.

Se cunosc astăzi numeroase săruri care devin fluorescente sub acțiunea razelor Röntgen: dintre aceste săruri menționăm clorura de sodiu, de bariu, de magneziu, de litiu, sulfații de potasiu, de chinină, salicilatul de bariu, sulfura de zinc, sărurile de uraniu. Anumite substanțe, cum sînt de exemplu, wolframata de molibden, calciu, magneziu, cum și platinocianura de bariu, dau o fluorescență deosebit de intensă.

Unele din aceste substanțe sînt folosite curent pentru a detecta și face vizibile razele Röntgen și pentru a studia umbrele date de corpurile care absorb aceste raze. În radioscopie și microradiografie este utilizată această proprietate a fluorescenței diferitelor substanțe în raze X; aceste metode nu ar fi fost posibile fără ecranul acoperit cu substanța fluorescentă pe care primim imaginea radioscopică.

Ecranele radioscopice constau în general dintr-o placă de carton, lemn, derivate celulozice, cauciuc poros etc., acoperită cu un strat de substanță fluorescentă în partea dispre operator; peste acest strat, placa este acoperită cu o placă groasă de sticlă de plumb, destinată a proteja pe radiolog împotriva efectelor nocive ale expunerii repetate la razele Röntgen. Wolframatul de calciu și silicatul de zinc, utilizate în epoca de început a radiologiei ca substanțe fluorescente, au fost înlocuite în ecranele radioscopice ale aparatelor moderne prin săruri de zinc-cadmium, activate cu ajutorul argintului. La iradiere egală, acestea dau o emisiune de zece ori mai luminoasă decît substanțele fluorescente utilizate în vechile aparate.

Luminozitatea ecranului pentru radioscopia pulmonară oscilează între 0,003 și 0,03 luși. Calitatea ecranului depinde de luminozitatea sa, de contrastele pe care le permite, de forma netă a imaginii. Culoarea are mai puțină importanță; totuși se preferă culoarea verde-gălbui, pentru care ochiul este mai sensibil. Substanțele fluorescente folosite în aparatele mai vechi își pierd această însușire sub acțiunea luminii zilei. De aceea, ecranele se acoperă cu o pînă neagră cînd nu sînt folosite.

Razele Röntgen fac fluorescente și mediile refringente ale ochiului. Din această cauză încercăm o senzație luminoasă aflîndu-ne, chiar cu ochii închiși, în apropierea unei surse de raze X în funcțiune.

h) **Acțiunea chimică** cea mai importantă pentru radiologia medicală și pentru cercetarea radiologică generală este impresionarea plăcii fotografice. Pe această acțiune se bazează *radiografia*. Unele acțiuni chimice sînt utilizate pentru măsurarea intensității razelor X, modificările chimice fiind proporționale, între anumite limite, cu intensitatea acestor radiații. Astfel, schimbarea culorii platinocianurilor alcaline și alcalino-pămîntoase are un rol însemnat în dozarea razelor Röntgen. Sub acțiunea acestor radiații, platinocianura de bariu trece de la culoarea ei verde naturală la o culoare cafenie (efectul Villard). Sarea revine la culoarea ei verde sub acțiunea razelor de lumină.

4. ABSORBȚIA RAZELOR RÖNTGEN

Modul de absorbție diferită a razelor Röntgen de către diferitele părți constitutive ale organismului uman constituie baza diagnosticului radiologic și conduce și întreaga tehnică a radioterapiei. Absorbția diferențială a razelor Röntgen este folosită și în aplicațiile din domeniul metalurgiei.

a) **Absorbția.** Se știe din studiul absorbției luminii că, dacă o radiație monocromatică traversează pe rând mai multe straturi de aceeași substanță și de grosime egală și dacă fiecare strat absoarbe o anumită parte din intensitatea radiației care a străbătut stratul precedent, raportul dintre intensități ia forma unei ecuații exponențiale:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

în care I_0 este intensitatea radiației incidente, I este intensitatea radiației după ce a străbătut un strat de materie în grosime egală cu x , iar μ este un coeficient liniar de absorbție care depinde de lungimea de undă a radiației și de mediul absorbant; e este baza logaritmilor neperieni (2,72).

Fasciculele de raze X emise de tubul Röntgen nu sînt monocromatice: ele cuprind unele radiații de mică lungime de undă, care sînt foarte penetrante (dure), și altele cu λ mai mare, care sînt mai puțin penetrante (moi). Străbătînd materia, razele moi vor fi mai ușor absorbite, așa că, de la o anumită grosime a stratului absorbant, nu vor mai rămîne decît radiațiile cele mai pătrunzătoare din fascicul. Proprietatea unui fascicul complex de a deveni din ce în ce mai dur și mai omogen traversînd straturi crescînde de materie stă la baza filtrării razelor Röntgen în radioterapie.

b) **Difuziunea razelor Röntgen.** Un efect similar cu cel al absorbției îl produce difuziunea razelor Röntgen: cantitatea de raze scade treptat, pe măsură ce fasciculul traversează corpul absorbant în care se produce difuziunea.

În fig. 525 se poate vedea cum un fascicul conic de raze Röntgen pătrunde în corpul K , prin suprafața superioară S , și nu iese în aceeași cantitate prin suprafața inferioară I chiar dacă corpul nu absoarbe aproape de loc razele Röntgen. În trunchiul de con V , fiecare atom răspîndește în toate direcțiile o parte din radiațiile primite, așa cum arată săgețile.

Difuziunea pe unitatea de volum crește cu frecvența și este în raport invers cu numărul atomic. Părțile

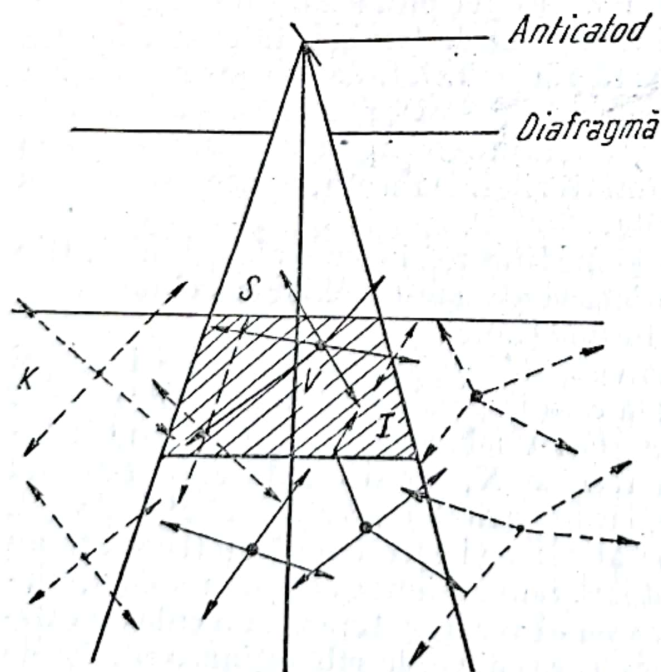


Fig. 525—Difuzia razelor Röntgen (schemă).

moi ale corpului dau, la iradiația cu raze Röntgen, foarte multe raze de difuziune. Difuziunea este mai mare pe direcția propagării fasciculului de raze Röntgen, în sensul propagării, decît în sens invers, și este foarte slabă în direcția perpendiculară pe axa fasciculului incident.

Absorbția și difuziunea unui fascicul de raze Röntgen moi care pătrunde prin A într-o cameră Wilson se pot vedea în fig. 526. După cum se va vedea la descrierea mai detaliată a acestui aparat, trecerea fasciculului devine vizibilă datorită condensării vaporilor de apă din cameră pe ionii gazelor din aer produși sub

acțiunea razelor X. Fasciculul trece prin lama m aflată în mijlocul camerei, dar după ce o străbate este mult slăbit datorită absorbției. Lama este înconjurată de o zonă sferică, datorită razelor de difuziune și razelor de fluorescență, despre care se va vorbi mai departe.

Difuziunea razelor Röntgen se poate face în două moduri: 1) prin dispersie, care este o simplă schimbare de direcție a radiației incidente; 2) prin efectul Compton, care constă dintr-o schimbare a calității radiației.

Pentru lungimile de undă mai mari de $0,6 \text{ \AA}$, coeficientul de absorbție prin difuziune crește cu numărul atomic al substanței difuzante. Pentru lungimile de undă mai mici de $0,1 \text{ \AA}$, acest coeficient crește cu frecvența. În domeniul razelor Röntgen cu unde scurte, apare modul de difuziune prin schimbarea lungimii de undă.

c) **Efectul Compton** se observă la studiul spectrelor emise de un corp lovit de o radiație monocromatică de lungime de undă mică.

Cercetînd difuziunea razelor Röntgen de către materie, A. H. Compton a descoperit în 1923, că, la difuziunea prin atomi ușori, are loc o schimbare a lungimii de undă a razelor X. Deplasarea lungimii de undă a fost observată și la difuziunea prin atomi grei; aici desfășurarea fenomenului este însă mai complicată. Fenomenul a fost numit *efect Compton*.

Schema instalației experimentale a lui Compton este arătată în fig. 527. Un fascicul îngust de raze X trecut prin diafragmele de plumb DD_1 și DD_2 este difuzat de o lamă de grafit (carbon cristalizat), substanță cu atomi ușori; difuziunea este studiată cu ajutorul unui spectrograf de raze Röntgen. Fasciculul primar cuprinde raze monocromatice de o anumită lungime de undă. În radiațiile difuzate, pe lângă acest λ se constată și prezența unei radiații de lungime de undă λ' mai mare decât λ .

Variația $\Delta\lambda$ observată nu depinde de lungimea de undă a razelor X supuse difuziunii, nici de substanța difuzantă, ci de direcția difuziunii, potrivit expresiei

$$\Delta\lambda = 2k \sin^2 \frac{\Theta}{2},$$

unde Θ este unghiul format de direcția fasciculului primar și cea a radiației difuzate, iar k este o constantă a cărei valoare găsită experimental este $0,0243 \text{ \AA}$; ea indică valoarea maximă a schimbării lungimii de undă corespunzătoare unei difuzate înapoi pe direcția fasciculului incident, adică pentru $\Theta = 180^\circ$.

Această variație a lungimii de undă are o importanță cu atât mai mare cu cît razele Röntgen au o lungime de undă mai mică. La razele X obținute cu o diferență de potențial de $300\,000 \text{ V}$, în radioterapia penetrantă cu filtrare puternică, această variație a lungimii de undă poate atinge o treime și chiar jumătate din lungimea de undă cea mai scurtă din fasciculul utilizat. Pentru razele γ ale radiului, efectul Compton se manifestă printr-o modificare și mai mare a lungimii de undă. Pentru elementele ușoare cum sînt cele din care este alcătuit corpul omenesc, cea mai importantă parte a difuziunii se face

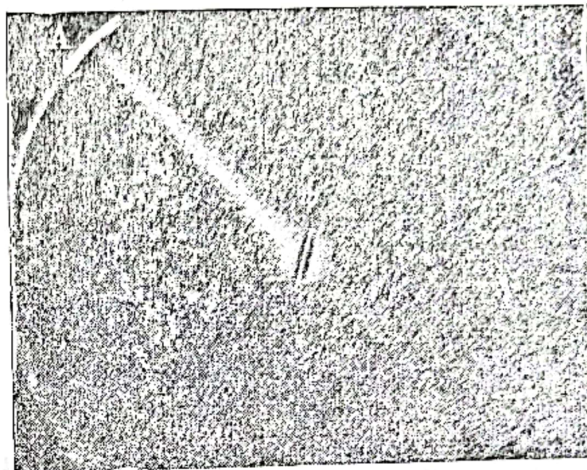


Fig. 526 — Absorbția și difuzia unui fascicul de raze Röntgen moi.

prin efectul Compton; acest efect are deci un rol preponderent în radioterapia penetrantă.

d) **Raze de fluorescență.** Razele Röntgen de fluorescență sînt raze secundare Röntgen, care prin modul lor de producere amintesc fenomenul de fluorescență.

Tot așa cum la producerea razelor primare Röntgen era nevoie de o anumită tensiune la electrozii tubului pentru a extrage un electron din straturile *K*, *L*, *M*, etc., tot așa este nevoie ca radiațiile Röntgen primare să aibă energie mai mare decît radiația secundară Röntgen care ia naștere la nivelul atomului.

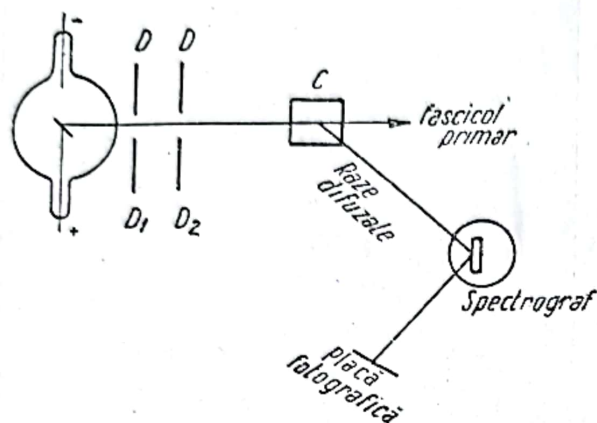


Fig. 527 — Schema dispozitivului pentru studierea efectului Compton.

Pentru ca razele caracteristice sau de fluorescență, care depind de natura atomului și îl caracterizează, să poată fi produse, se cere deci, ca singură condiție, ca frecvența ν_p a radiației Röntgen primare să fie mai mare decît frecvența ν_s a radiației Röntgen secundare:

$$\nu_p > \nu_s.$$

Razele Röntgen caracteristice au fost numite din această cauză raze Röntgen de fluorescență (Barkla, 1908).

Ca și la lumină, atomul absoarbe din radiațiile incidente o cantitate mai mare de energie corespunzătoare frecvenței radiației de fluorescență. Această absorbție se numește absorbție selectivă. Absorbția selectivă a radiațiilor caracteristice se manifestă printr-o discontinuitate în spectre. În tabelul 49 sînt arătate unele discontinuități de absorbție a substanțelor folosite mai frecvent în radiologie, pentru filtrarea razelor Röntgen.

Bragg și Pierce au demonstrat că undele absorbite sînt în legătură cu numărul atomic al elementului absorbant; anumite unde nu sînt absorbite decît de metale determinate, ceea ce are un rol însemnat în radioterapie.

Tabelul 49

Discontinuitatea de absorbție a cîtorva metale folosite la filtrarea razelor X

Elementele	Nr. atomic <i>Z</i>	Discontinuitatea la λ în angströmi	
		<i>K</i>	<i>L</i> _{III}
Aluminiu	13	7,9	—
Cupru	29	1,38	—
Zinc	30	1,29	—
Argint	47	0,48	3,68
Wolfram	74	0,18	1,21
Platină	78	0,16	1,07
Plumb	82	0,14	0,95

Din acest tabel reiese că lungimile de undă ale aceleiași discontinuități de absorbție, ca și lungimile de undă ale liniilor caracteristice de care ele sînt strîns legate, descresc cînd numărul atomic crește. Legea lui Moseley se aplică acestor discontinuități cu mare exactitate.

Filtrarea razelor X este de asemenea o problemă importantă pentru radioterapie, îndeosebi pentru cea profundă. În scopul de a putea dispune de raze cât mai pătrunzătoare, se intercalează între subiect și sursa de raze X un ecran al cărui rol este de a absorbi radiațiile mai moi și a nu permite radiațiilor mai dure să se oprească la suprafața corpului de tratat. Aceste ecrane sînt de obicei lame de metal ale căror discontinuități de absorbție permit filtrarea. Aceste lame iau numele de filtre de raze X.

Filtrele de raze X trebuie să îndeplinească două condiții principale: să nu prezinte discontinuități de absorbție pentru lungimi de undă care corespund unor radiații cu intensitate destul de puternică în spectrul fasciculului utilizat și să fie formate dintr-o substanță cu greutatea atomică cu atât mai mare cu cît radiația de filtrat este mai dură, adică de lungime de undă mai mică.

În practică se utilizează, pentru radioterapia profundă, un filtru de cupru sau de zinc de 1 mm grosime, căruia i se adaugă un filtru de aluminiu de cîtiva mm grosime, pentru a absorbi radiațiile pe care filtrul de cupru le emite sub acțiunea razelor X incidente; uneori, pentru a se absorbi și radiațiile aluminiului, se adaugă un al treilea filtru, de data aceasta de piele, de lemn sau chiar de hîrtie.

Pentru radiațiile mai puțin penetrante, se utilizează un filtru de aluminiu în grosime de 3 — 10 mm.

5. IONIZAREA GAZELOR PRIN RAZELE RÖNTGEN

Razele Röntgen proiectate asupra unui corp solid fac să plece electroni din atomii acestuia; fenomenul este analog cu efectul fotoelectric pe care l-am descris în capitolul respectiv. Analogia a fost extinsă și la denumirea electronului extras prin acțiunea razelor X, acesta fiind numit „fototelectron“.

Traversînd un gaz, razele Röntgen produc aceleași fenomene fotoelectrice ca și la corpurile solide. Gazele avînd un număr atomic mic, energia cuantelor de raze Röntgen depășește pe cea necesară dislocării electronului din atomul de gaz. De aceea, numai o parte a energiei va fi utilizată pentru extragerea electronului, iar restul va fi înmagazinat sub formă de energie cinetică, de electronul extras. Electronii extrași, datorită mării lor energii cinetice, vor putea să extragă alți electroni din numeroșii atomi întîlniți în cale, pierzînd de fiecare dată o cantitate de energie pe care o cedează noilor electroni dislocați. La sfîrșit, restul de energie este cedat unui atom sub formă de căldură.

Electronii extrași astfel, în mod secundar, terțiar etc., sînt fixați, după un anumit parcurs, de cîte un atom, care devine astfel ion negativ.

Deci, sub acțiunea razelor Röntgen, un gaz se ionizează, adică se produc ioni pozitivi (atomi din care au fost extrași electroni) și în același număr ioni negativi (alcătuiți din atomi la care s-au adăugat electronii extrași din atomi).

Benoist și Hurmuzescu au arătat, încă în primii ani ai radiologiei, că un ecran metalic iradiat cu raze X devine o sursă de ioni care fac gazul conductor; Perrin a dovedit că razele Röntgen ionizează gazele. Un conductor metalic ori un electroscope, încărcăți fie pozitiv, fie negativ, vor fi deci descărcați la trecerea razelor Röntgen.

Faptul că razele Röntgen ionizează gazele prin care trec și descarcă conductorii electrizați pe care îi întîlnesc în cale este folosit în construcția camerei de ionizare și a ionometrelor pentru măsurarea cantitativă a razelor Röntgen.

B. TEHNICA PRODUCERII RAZELOR RÖNTGEN

O instalație radiologică trebuie să cuprindă aparatele necesare pentru producerea razelor X (tuburile de raze X), pentru alimentarea acestor tuburi (sursele de înaltă tensiune), pentru aplicarea razelor produse, precum și aparatele accesorii: pentru redresarea curentului, pentru măsurarea curentului, pentru dozarea radiației etc.

1. ALIMENTAREA ÎN CURENT CONTINUU

Pentru ca tuburile de raze X să poată emite razele Röntgen necesare, ele trebuie să fie alimentate prin curenți de tensiune înaltă, de 60 000—300 000 volți. Oricare ar fi sursa, la electrozii tubului trebuie să se aplice un curent continuu de tensiune înaltă arătată și uneori de tensiuni și mai înalte.

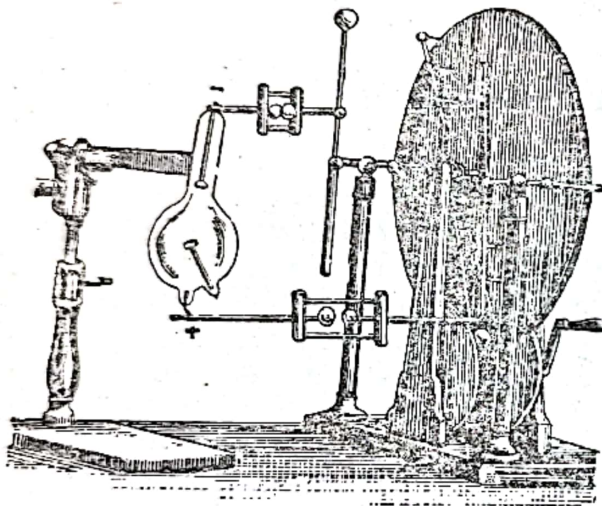


Fig. 528 — Tub Röntgen alimentat cu mașina electrostatică, în primii ani ai radiologiei.

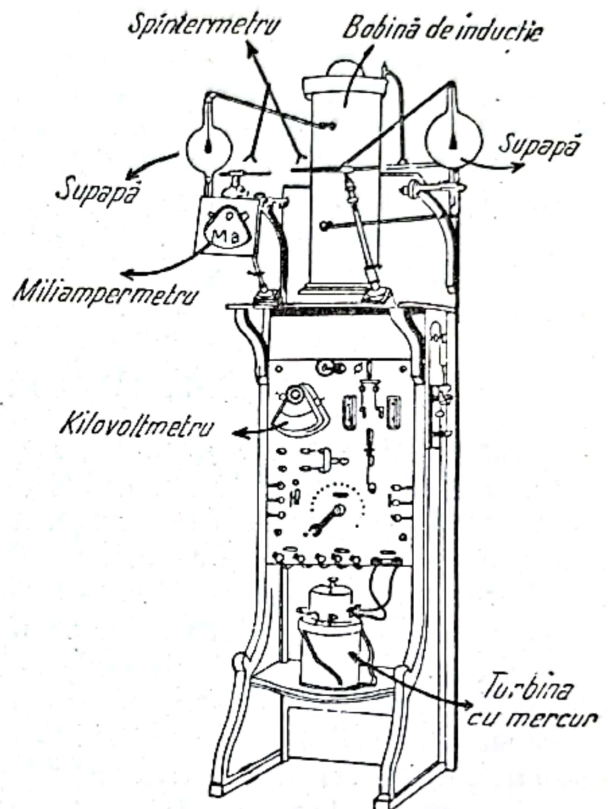


Fig. 529 — Bobina de inducție pentru instalații radiologice.

Se obține curentul necesar pentru instalațiile de radiologie folosind diferitele categorii de generatori.

a) **Mașina electrostatică.** În primii ani ai radiologiei a fost folosită pentru alimentarea tuburilor Röntgen mașina electrostatică (fig. 528). Mașina statică furnizează curent continuu de diferență de potențial mare, deci direct utilizabil. Din cauza debitului mic al acestor mașini, intensitatea neatingând uneori un miliamper, ele nu pot fi utilizate cu eficiență în radiologia modernă și prezintă astăzi numai un interes istoric. În ultima vreme, folosirea electricității statice a fost reluată, însă cu generatori electrostatici moderni, de mare debit.

b) **Bobina de inducție.** Bobina de inducție, pe care am descris-o în capitolul de electricitate privitor la transformatori, este folosită în radiologie într-o construcție adecvată (fig. 529); ea servește pentru a transforma curentul continuu cu tensiunea de 120 — 220 volți, furnizat de rețeaua

electrică, în curent de înaltă tensiune necesar aparatului de radiologie; acest curent de înaltă tensiune, care este alternativ prin faptul că este un curent transformat, se redresează pentru a alimenta tubul de raze X cu un curent de un singur sens.

Problemele tehnice de alimentare cu energie electrică ce se pun unei instalații de radiologie sînt deci: 1) transformarea curentului continuu de joasă tensiune în curent alternativ de înaltă tensiune, cu ajutorul bobinei; 2) redresarea curentului de înaltă tensiune.

Pentru a obține transformarea curentului de joasă tensiune, bobina trebuie să aibă un întrerupător care să taie curentul de mare intensitate într-un timp foarte scurt. Dispozitivul vibrator al bobinei de inducție clasice nu este suficient pentru bobina radiologică.

În instalațiile radiologice se folosește întrerupătorul cu turbina de mercur, în atmosferă gazoasă dielectrică. *Turbina cu mercur* este formată dintr-un recipient metallic umplut parțial cu mercur, în care se află o piesă de fier de formă conică străbătută de canale oblice în raport cu axul. Printr-o rotație rapidă pe care i-o dă un motor auxiliar, alimentat chiar de curentul întrerupt de turbină, mercurul se ridică în conductă în virtutea forței centrifuge și iese prin partea superioară sub forma de vină de lichid. Prin rotire, mercurul lovește niște palete metalice, producînd închiderea și rupura circuitului primar (fig. 530). Ruptura fiind mai bruscă într-un mediu dielectric gazos, se introduce în turbină hidrocarburi gazoase; de cele mai multe ori se introduce benzină, alcool sau eter, vaporii acestor substanțe fiind dielectrice. După mărimea paletelor lovite de vina de mercur în rotație, durata curentului primar este mai lungă sau mai scurtă. Uneori paletetele au mărimea și direcția reglabile, asigurînd astfel intensitatea necesară a curentului în bobină. Un condensator așezat în derivație pe întrerupător asigură absorbirea scintei de ruptură.

Bobina de inducție dă două unde de sens contrar: cea care corespunde închiderii circuitului primar are cam jumătate din valoarea undei de ruptură, care este foarte rapidă. Din cele două unde trebuie deci eliminată cea de închidere, numită și undă inversă. Eliminarea se face prin mai multe metode:

Supapa Villard este un tub ionic, care servește la eliminarea undei inverse. Acest aparat se compune dintr-un tub care are vidul mai puțin înaintat decît cel din tubul Crookes; dintre cei doi electrozi, care sînt de aluminiu, unul (A) are dimensiuni foarte mici (fig. 531) și este așezat în partea strîmtă a tubului, celălalt (C) este în formă de spirală și are suprafața mare; acest electrod este așezat în partea mai mare a supapei. Din cauza diferenței de dimensiuni și de așezare, supapa oferă curentului electric o mare rezistență în sensul de la C spre A și o rezistență mult mai mică de la A spre C; supapa se montează astfel ca electrodul de suprafață mare C să fie catod. Supapa Villard este montată în circuitul secundar al bobinei, de o parte sau de alta a tubului de raze X, astfel ca anticatodul tubului să

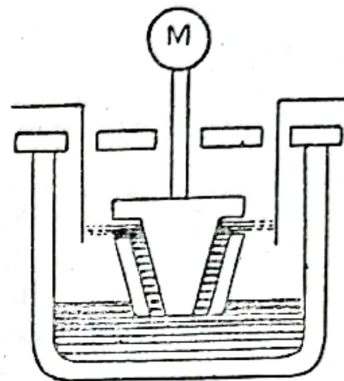


Fig. 530 — Schema turbinei cu mercur.

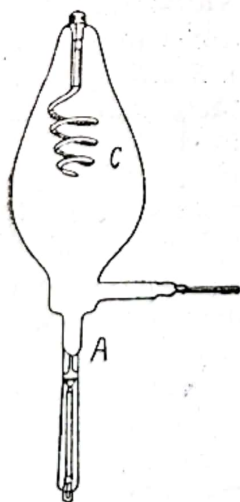


Fig. 531 — Supapa ionică Villard.

fie legat de catodul supapei sau catodul tubului să fie legat de anodul supapei. În acest mod, curentul nu poate trece prin tubul Röntgen decât în sensul necesar.

Rezistența supapei Villard trebuie să fie mai mică decât a tubului de raze X, adică vidul din ea să fie mai puțin înăunțat. O supapă prea rezistentă prezintă la trecerea curentului o fluorescență verde, ceea ce trădează apariția razelor catodice; supapa Villard în stare de funcționare normală trebuie să dea numai electroluminiscența gazului rezidual, adică culoarea roz-violet-deschis.

2. UTILIZAREA CURENTULUI ALTERNATIV PENTRU ALIMENTAREA INSTALAȚIEI DE RADIOLOGIE

Pentru alimentarea instalației de radiologie prin utilizarea curentului de 120 sau 220 V, pe care-l dă rețeaua de distribuție în curent alternativ, se pot întrebuiți diferite mijloace.

a) **Bobina de inducție**, care transformă curentul de tensiune mică în curent de tensiune foarte mare, necesar tubului de raze X. este folosită și în curent alternativ, însă este nevoie de dispozitive speciale care să provoace întreruperea curentului când intensitatea curentului primar trece prin valoarea sa maximă. În instalațiile de acest fel este folosită și turbina cu mercur. Montajul nu permite însă decât utilizarea jumătății din tensiunea furnizată de sursa de alimentare. În ce privește circuitul secundar, acesta rămâne la fel ca în cazul alimentării prin curent continuu.

b) **Transformatorii**. Cele mai bune aparate de alimentare sînt transformatorii statici, cu circuit magnetic închis, fabricați special pentru transformarea curentului alternativ de joasă tensiune în curent alternativ de tensiune înaltă.

Alegînd în mod convenabil raportul de transformare (despre care am tratat la capitolul Electricitatea) putem asigura transformarea curentului de intensitate mare și tensiune mică în curent de înaltă tensiune și intensitate mică.

Ca și la dispozitivele anterioare, se pune și aci problema folosirii curentului într-un singur sens.

c) **Selectorul mecanic**. Folosirea curentului într-un singur sens se poate asigura în mod simplu, utilizînd o singură undă, cu ajutorul unui selector mecanic; în acest mod, se pierde însă o jumătate din valoarea curentului. De aceea, s-au construit diferite dispozitive, dintre care amintim, pentru construcția lui simplă, contactul rotitor.

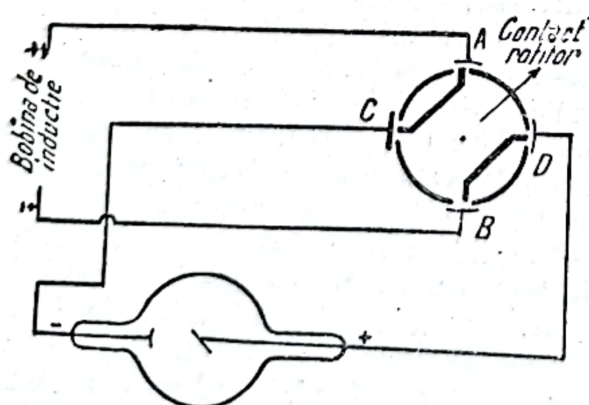


Fig. 532 — Schema contactului rotitor (redresor mecanic).

dintre acest contact, tubul de raze X și generatorul de curent. Circuitul alternativ secundar este legat de lamele metalice A și B, iar electrozii tubului de sectoarele C și D. Un disc cu patru contacte metalice, legate două câte două, se rotește astfel încît face o jumătate de rotire pentru o perioadă a curentului alternativ. Pentru una din alternanțe, sînt realizate conexiunile A-C și B-D, iar pentru alternanța următoare, conexiunile A-D și B-C, așa că tubul este

alimentat de fiecare dată în același sens. Rotirea discului pentru sincronizarea cu perioadele curentului alternativ (frecvența este de obicei 50 Hz) se asigură cu ajutorul unui electromotor alimentat din rețea.

d) **Montajele cu kenotroni.** Supapa electronică numită kenotron, descrisă în capitolul despre redresorii de curent, este folosită în montajele radiologice cele mai curențe. Pentru a folosi una din unde, montajul cere o singură supapă. Pentru a folosi cele două unde de sens contrar, se fac diferite montaje. Folosind kenotronii, se evită dispozitivele mecanice, din care am menționat mai înainte unul: aparatele mecanice sînt izvor de pane, de scînteii, de zgomote etc. Montajele cu kenotroni au o funcționare tăcută și sigură.

Vom descrie succint cele mai folosite montaje radiologice cu redresarea curentului prin kenotroni.

Montajul cu patru kenotroni a fost redat schematic la capitolul despre redresori. El prezintă un interes deosebit pentru tehnica radiologică. Acest montaj cuprinde 4 kenotroni intercalați pe cele patru laturi ale unui patrulater; de cele două vîrfuri opuse sînt legate bornele secundarului, iar celelalte două sînt legate de electrozii tubului Röntgen. Dacă kenotronii sînt conectați astfel ca doi din ei să fie legați prin filament de anticatod și ceilalți doi prin placă de catod, se poate vedea din schema fig. 533 că fiecare din unde ia drumul săgeții, și astfel tubul este alimentat cu cele două alternanțe date de secundarul bobinei de inducție sau a transformatorului. Curba curentului astfel redresat este redată în fig. 534. Montajul dă o tensiune pînă la 150 kV și poate fi utilizat în radiodiagnostic, ca și în unele aplicații de radioterapie.

Montajele cu șase kenotroni sînt cele mai curențe montaje pentru localitățile unde se face alimentarea de la rețeaua de curent trifazat (fig. 535). Cu acest montaj se folosesc ambele unde ale celor trei faze, așa că, atît randamentul electric cît și cel în energie radiantă este mult mai mare. Curba din fig. 536 arată forma curentului de sens direct obținut printr-un montaj cu șase kenotroni.

e) **Montajul cu condensatori.** În diferitele instalații de putere mai

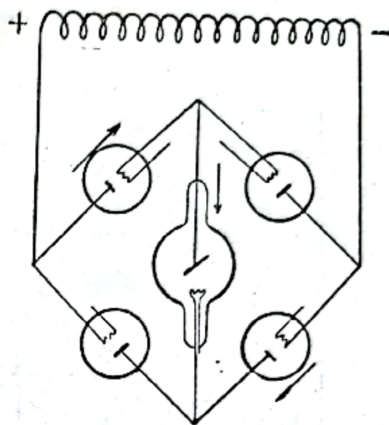


Fig. 533 — Montaj radiologic cu patru kenotroni.



Fig. 534 — Curba curentului redresat prin montajul cu patru kenotroni.

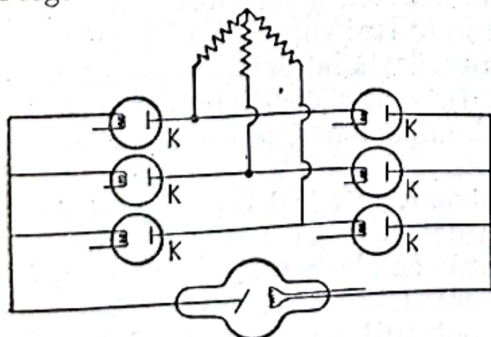


Fig. 535 — Alimentarea tubului Röntgen printr-un montaj cu șase kenotroni, de la rețeaua de curent alternativ trifazat.



Fig. 536 — Curba curentului direct obținut prin montajul cu șase kenotroni.

astfel încît placa b , rămînînd cu o sarcină electrică pozitivă, placa a capătă o sarcină electrică negativă. Placa a respinge electronii din placa a' , care pornesc pe circuit. Ei nu pot traversa tubul T , deoarece — după cum vom vedea la descrierea tuburilor — tubul permite trecerea curentului numai în sensul plăcă-filament; ei sînt obligați să circule pe derivație, străbătînd kenotronul K în sensul permis, și ajungînd astfel la placa b' , pe care o încarcă negativ, în timp ce placa a' rămîne încărcată pozitiv, prin pierderea

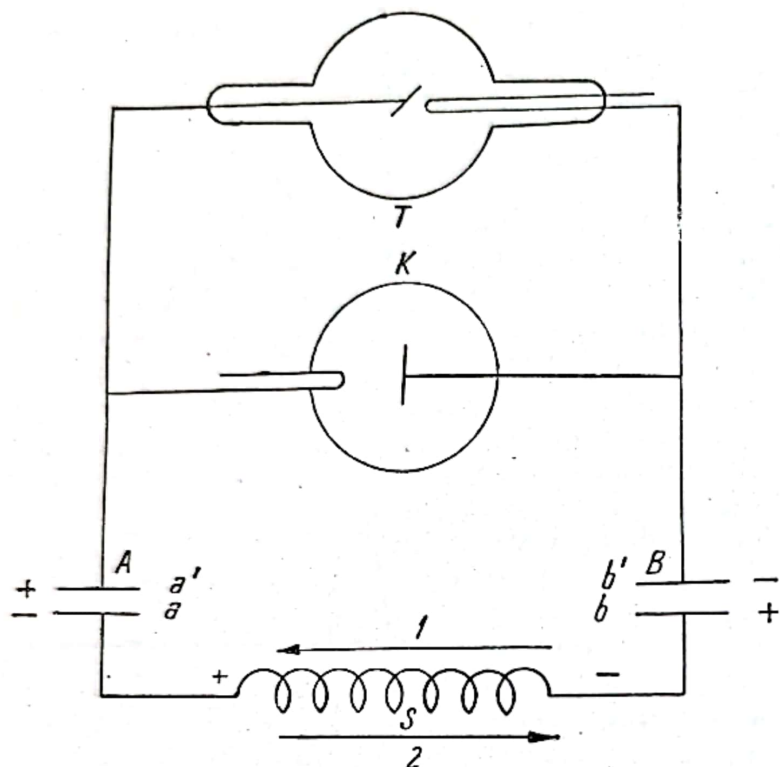


Fig. 537 — Montaj cu condensatori.

pozitiv, prin pierderea

Alternanța 2 are în circuit sensul contrar alternației 1. În acest mod, secundarul transformatorului poate fi asimilat cu o sursă electrică care are în x polul pozitiv și în y polul negativ, diferența de potențial dintre poli fiind V . Dar alături de acest izvor mai avem și cei doi condensatori A și B , fiecare avînd o tensiune de $V/2$. Aceste trei surse, fiind legate, după cum se vede în figură, în serie constituie o adevărată baterie, a cărei tensiune este suma tensiunilor parțiale, adică $2V$. În aceste condiții, tubul de raze Röntgen este alimentat cu o tensiune de două ori mai mare decît cea dată de secundarul transformatorului.

Un montaj similar, însă cu doi kenotroni, este cel reprezentat în fig. 538, în care kenotronii se află montați în derivație cu tubul și sînt legați de transformator prin intermediul cîte unui condensator. Pentru una din alternanțe, condensatorii se încarcă, curentul trecînd prin kenotroni. Pentru alternanța următoare, tensiunea kenotronilor se adaugă celei a transformatorului și ambii debitează curentul în tub.

Montajul cu condensatori are însă un dezavantaj, care constă în faptul că tensiunea nu este constantă: tubul Röntgen este supus în permanență unei

tensiuni variabile (tensiune pulsatoare). Graficul acestei tensiuni este asemănător celui al montajului cu 4 kenotroni.

Inconvenientul tensiunii pulsatoare este eliminat dacă se utilizează într-o instalație radiologică un montaj cu condensatori după schema redată în fig. 539; fiecare extremitate a secundarului transformatorului este legată la două circuite, cuprinzând fiecare câte un kenotron și un condensator. Prin asocierea în tensiune a acestor dispozitive, se realizează tensiuni constante; aceste tensiuni pot atinge chiar 400 kV și pot da raze X dure (de mică lungime de undă), folosite în radioterapia profundă.

Circulația curentului în acest

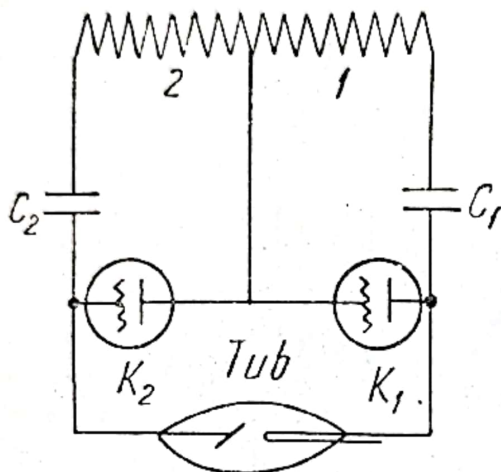


Fig. 538 — Montaj cu condensatori (tensiune pulsatoare).

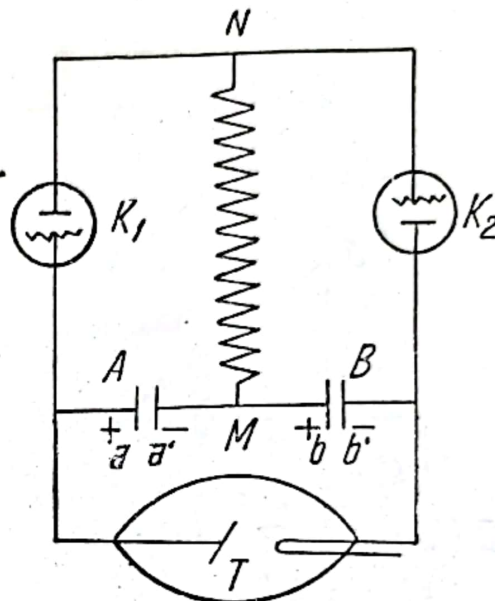


Fig. 539 — Montaj cu tensiune constantă, cu condensatori.

montaj poate fi urmărită în fig. 539, în cazul celor două alternanțe care străbat secundarul MN al transformatorului.

Cei doi condensatori alcătuiesc o baterie cu elementele legate în serie, la care deci tensiunile se adună. Condensatorii au o capacitate mare, așa că pot înmagazina o cantitate mai mare de electricitate, sub o tensiune mică. De aceea, primele alternanțe nu fac altceva decât să încarce condensatorii până ce fiecare din ei atinge tensiunea V din secundarul transformatorului. Din acel moment, începe descărcarea lor prin tubul T , care este astfel supus unei tensiuni de 2V. Cum condensatorii au o capacitate mare, descărcarea

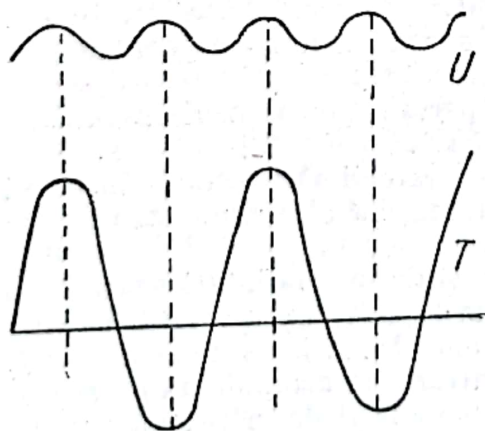


Fig. 540 — Tensiunea transformatorului (T) și cea de utilizare (U).

lor prin tub le ia numai o mică parte din sarcină; această parte este imediat înlocuită de alternanța sosită de la secundarul transformatorului. Sarcina condensatorilor rămâne astfel constantă în tot timpul alimentării tubului, și deci tensiunea lor nu variază. Ca o consecință imediată, tensiunea care accelerează electronii din tubul Röntgen este de asemenea constantă. În rezumat, rolul condensatorului este de a amortiza fluctuațiile diferenței de potențial de la bornele tubului de raze X. În fig. 540 este arătat grafic raportul dintre tensiunea transformatorului (T) și tensiunea de utilizare (U).

Acest montaj este folosit îndeosebi în radioterapia profundă, fiindcă permite aplicarea razelor X în condiții bine definite. Diferența de potențial de la bornele tubului fiind sensibil constantă, fasciculul catodic prezintă o mai mare omogenitate, așa că razele Röntgen produse sînt aproape monocromatice.

3. GENERATORI MODERNI DE TENSIUNE FOARTE ÎNALTĂ

În ultima vreme, în legătură cu cercetările de fizică nucleară și cu folosirea aparatelor de radiologie medicală și industrială de mare putere,

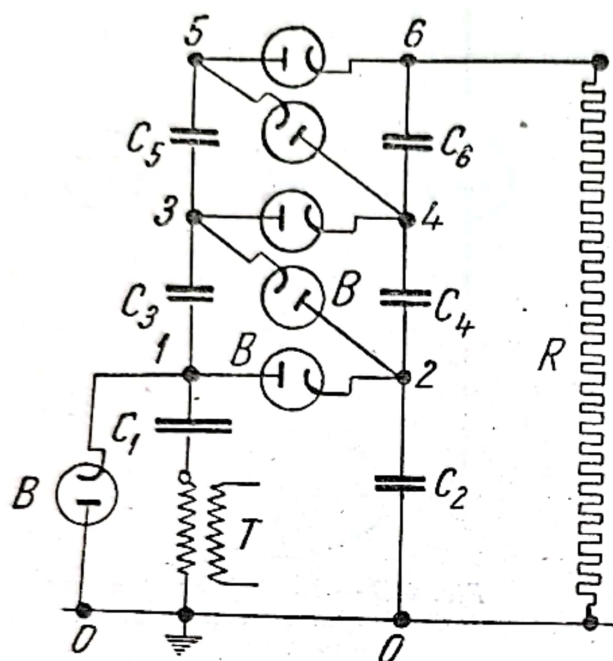


Fig. 541 — Schema de principiu a unui generator de curent continuu cu kenotroni.

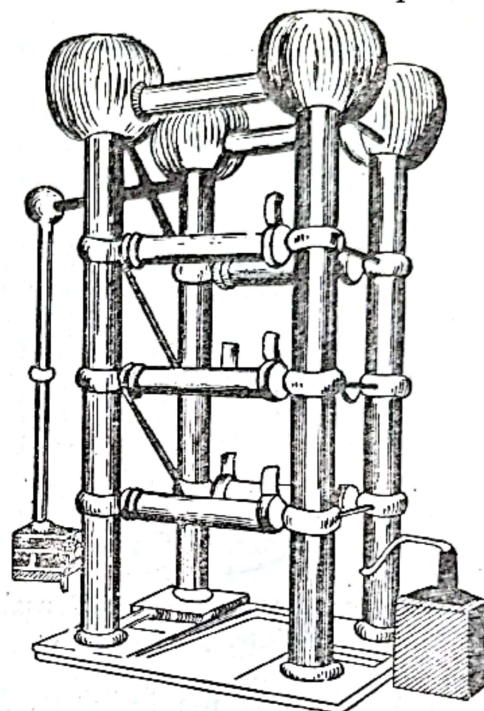


Fig. 542 — Generator în cascadă de 800 kV cu redresori de seleniu.

sînt utilizați generatori de curent continuu de tensiune foarte înaltă. În cele ce urmează sînt descriși succint cîțiva din acești generatori moderni.

a) **Generatori în cascadă.** Un generator modern de înaltă tensiune este generatorul numit „în cascadă”. Acest aparat constă dintr-un număr de condensatori încărcăți în paralel, prin intermediul unor kenotroni, și descărcați în serie. Randamentul unui astfel de generator în cascadă, cu mai multe trepte, este mai bun decît cel al instalațiilor descrise anterior. În fig. 541 este reprezentată schema de principiu a unui astfel de generator de curent continuu cu condensatori și kenotroni.

Din aceeași categorie de generatori face parte și generatorul în cascadă de 800 kV, cu redresori de seleniu (fig. 542).

b) **Generatori electrostatici moderni.** Generatorii electrostatici moderni nu au legătură, în ce privește construcția, cu mașina electrostatică clasică; ei au însă la bază același principiu.

Din această categorie de generatori sînt mult întrebuiți generatorii van de Graaf. Într-un astfel de aparat, sarcinile sînt transportate în interiorul unor sfere metalice goale, cu ajutorul unor benzi izolante fără sfîrșit. De pe cele două benzi, sarcinile (de semne contrare) se acumulează pe suprafețele sferelor, dînd naștere la diferențe de potențial de cîțiva megavolți.

Au fost făcute încercări, încununate cu succes, de a transporta sarcini electrice în lungul unor tuburi izolante, cu ajutorul unor particule de praf

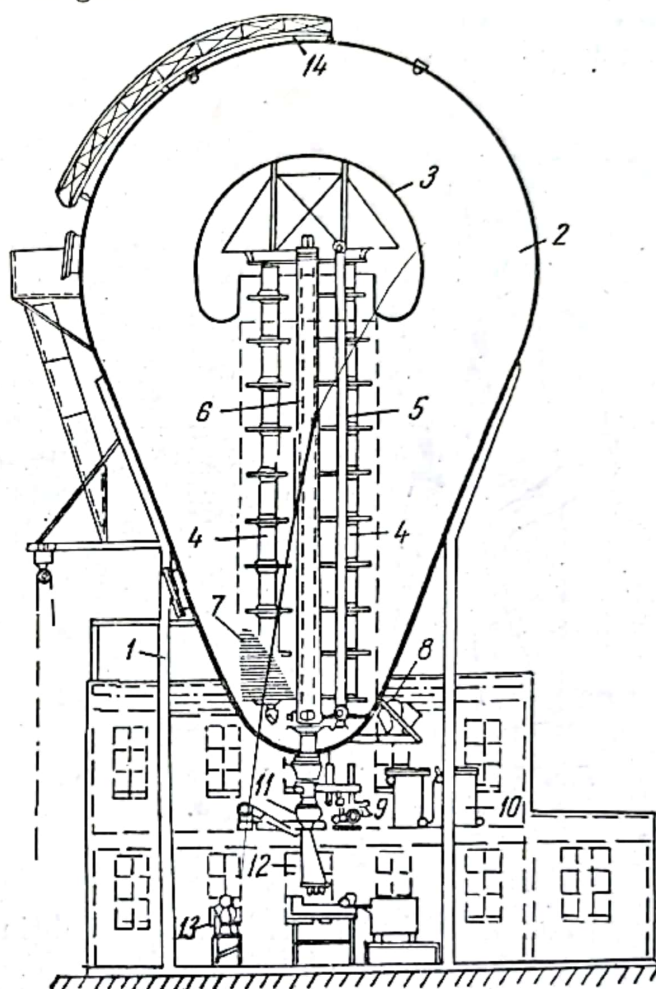
purtate de un curent de aer. Pe acest principiu a fost construit un generator de 2 milioane volți (2 MV). Aparatul are o înălțime de 7,5 m și produce o tensiune de 2 MV la o viteză a aerului de 50—60 m/s. La această viteză, aerul se încălzește, prin frecare mecanică, până la 80°.

Un aparat similar, construit de Lazard, furnizează o tensiune continuă de 5 MV și curenți până la 10 mA.

În fig. 543 este reprezentat un generator electrostatic înalt de 14 m. Electrocul de înaltă tensiune are un diametru de 4,5 m. În para de oțel, presiunea este de 8 at. Electrocul este susținut de 4 coloane de porțelan. Două benzi se mișcă cu o viteză de 22 m/s. În mijloc, se află tubul (6) pentru accelerarea particulelor încărcate. Inelele echipotențiale (7) asigură repartiția uniformă a potențialului.

O instalație foarte compactă de radiologie, cu generator electrostatic și tub Röntgen de 2 MV, este redată în fig. 544. Aparatul este destinat scopurilor medicale. Dispozitivul are în interior azot, sub presiunea de 27 at, iar electrocul de 40 cm se găsește la o distanță de 18 cm de peretele mantalei aparatului. Gradientul maxim este de 160 kV/cm. Într-o coloană cu înălțimea de 60 cm se află o bandă lată de 15 cm. La plină tensiune, aparatul dă un curent de 0,5 mA. Caracteristic este faptul că, utilizându-se gaze cu mare rigiditate dielectrică, cum ar fi fluoroclorura de carbon CCl_2F_2 (freonul) sau hexafluorura de sulf SF_6 , folosite în Uniunea Sovietică, presiunea gazului din aparat se poate reduce la o treime față de presiunea necesară la folosirea ca dielectric a aerului sau azotului.

În fig. 545 este reprezentat un alt tip de aparat Röntgen, alimentat de un generator electrostatic de 2 MV.



1 — dispozitivul de susținere; 2 — manta de oțel; 3 — electrod de înaltă tensiune; 4 — coloane de porțelan; 5 — benzi; 6 — tub accelerator; 7 — inele pentru repartizarea uniformă a tensiunii; 8 — motor pentru mișcarea benzilor; 9 — instalație de vid pentru tub; 10 — uscător; 11 — magneti care deviază fasciculul; 12 — analizor de fascicule; 13 — cameră de ionizare; 14 — voltmetru.

Fig. 543 — Secțiune printr-un generator electrostatic de 5 MV

4. TUBUL DE RAZE X

Generatorul de radiații Röntgen este un aparat electric de înaltă tensiune, cu vid, având doi electrozi: catodul și anodul. Radiațiile Röntgen fiind produse prin frînarea bruscă a electronilor rapizi de către anodul

tubului, care are și rol de anticatod, se dă electronilor mișcarea rapidă cu ajutorul unui câmp electric puternic, produs de tensiunea înaltă aplicată electrozilor; tensiunea are — după cum s-a arătat mai înainte — o valoare de ordinul zecilor, sutelor și chiar miilor de kilovolți. Cu cât tensiunea la electrozi este mai ridicată, cu atât puterea de pătrundere a radiațiilor Röntgen (duritatea) este mai mare.

Din punctul de vedere al procedurii de obținere a electronilor liberi, se deosebesc două clase principale de tuburi pentru raze Röntgen: tuburi ionice și tuburi electronice.

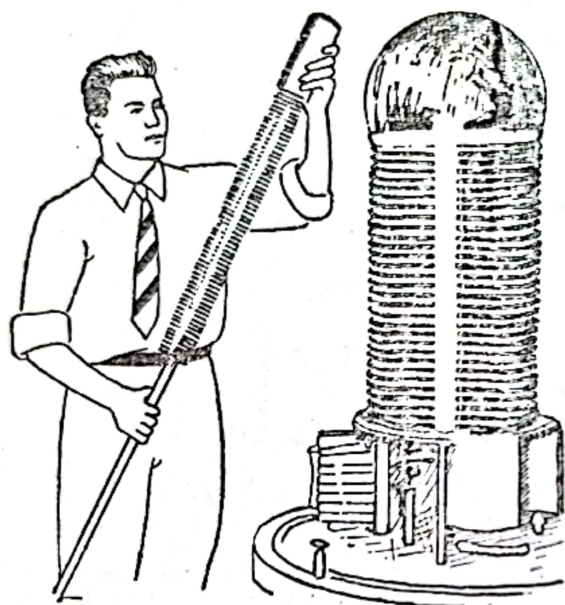


Fig. 544 — Generator electrostatic de 2 MV cu tub Röntgen.

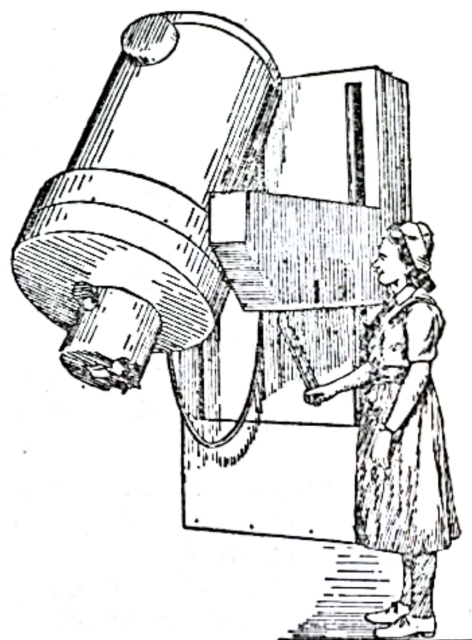


Fig. 545 — Aparat Röntgen alimentat de un generator electrostatic de 2 milioane de volți.

În *tuburile ionice*, ionii liberi se obțin în urma ionizării gazului rarefiat aflat între electrozii tubului; presiunea gazului este în aceste tuburi de 10^{-3} mm Hg. Tuburile ionice moderne de mare putere se construiesc demontabile și funcționează cu o pompă de vid.

În *tuburile electronice*, pentru obținerea electronilor liberi se folosește fenomenul emisiunii termoelectronice în vid înaintat, la o presiune de 10^{-6} — 10^{-7} mm Hg. Sursa de electroni liberi este catodul tubului electronic, care constă dintr-un filament de wolfram, încălzit cu ajutorul unui circuit separat, de joasă tensiune.

Tuburile electronice moderne nu cer evacuarea aerului cu pompă de vid decât la fabricare, iar nu și în timpul funcționării.

a) **Tuburile ionice pentru raze Röntgen.** Din punct de vedere istoric, tuburile ionice au precedat pe cele electronice. Primul tub Röntgen a fost, așa cum am arătat, un tub Crookes căruia i s-a adăugat un anticatod.

Tuburile ionice de produs raze Röntgen au fost primele tuburi de raze X folosite în medicină, în cercetarea științifică și în tehnică. În radiologia medicală, aceste tuburi sînt menținute numai în instalațiile în care ele mai pot funcționa în mod eficace. Se construiesc și se utilizează însă tuburi ionice moderne pentru analiza structurală a diferitelor materiale, cum și pentru analiza spectrală radiologică.

Tubul ionic este un tub Crookes căruia i s-a adăugat un anticatod; de aceea, în radiologie, tuburile ionice pentru producerea razelor X se numesc de multe ori și tuburi radiologice Crookes sau, prescurtat, tuburi Crookes. Schema de principiu a tubului ionic reiese din fig. 546. Tubul are un catod C , un anod principal A_1 (care are și rolul de anticatod) și un anod secundar A_2 . Din tub este scos aerul pînă la o presiune de 10^{-3} mm Hg.

Electronii necesari pentru lovirea anticatodului se produc în tubul ionic prin procesul de ionizare a gazului rarefiat, proces care are loc dacă stabilim între anodul și catodul tubului o tensiune suficient de mare. Cîmpul electric accelerează, atît electronii, cît și ionii pozitivi formați în tub; acești ioni, căzînd asupra catodului cu o energie cinetică mare, provoacă o emisiune secundară de electroni din catod. Fluxul de electroni este atras spre anod, sub acțiunea aceluiasi cîmp electric, constituind astfel raze catodice. În calea razelor catodice se află anticatodul. Porțiunea din suprafața anticatodului pe care are loc frinarea razelor catodice, se numește focar; acesta constituie sursa de raze Röntgen.



Fig. 546 — Schema de principiu a tubului ionic pentru raze Röntgen.

Forma și dimensiunile catodului, anticatodului și focarului pot varia, în funcție de destinația tubului Röntgen. Astfel, pentru a obține un focar de dimensiuni mici, catodul tubului ionic se construiește în formă de oglindă concavă (fig. 547), pentru ca electronii care pornesc de la catod să se concentreze în focarul oglinzii, (care devine și focarul tubului), deci pe o porțiune mică a anodului.

Catodul este făcut de obicei din aluminiu, acest metal emițînd relativ ușor electroni sub acțiunea fluxului de ioni pozitivi. În afară de aceasta, aluminiul nu se volatilizează prea ușor.

În timpul funcționării tubului, se observă totuși o oarecare volatilizare a substanței catodului; suprafața interioară a tubului Röntgen se acoperă astfel treptat cu un depozit metalic fin. Acest depozit, absorbînd gazul, micșorează și mai mult presiunea din tub; se mărește astfel rezistența tubului, și deci și tensiunea necesară la electrozii tubului ionic, ceea ce duce la micșorarea lungimii de undă a razelor X. Tubul devine astfel din ce în ce mai „dur“.

Dacă presiunea a scăzut, fie din cauza pulverizării catodului, fie din alte cauze, se introduce în tub, din cînd în cînd, o cantitate oarecare de gaz pentru a se restabili presiunea necesară unei emisiuni convenabile de raze Röntgen.

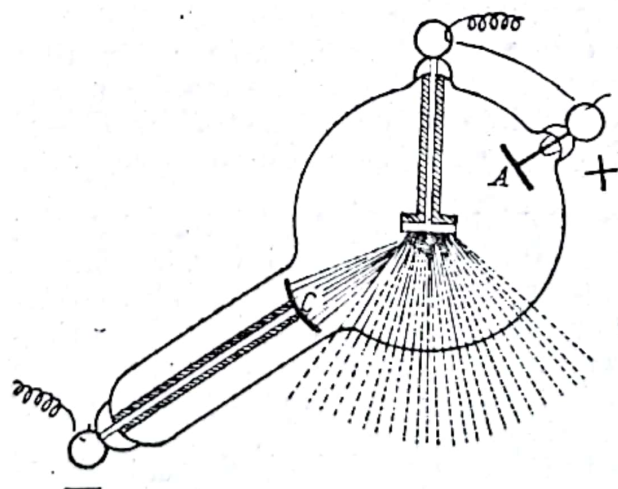


Fig. 547 — Tub Röntgen cu catodul concav.

În acest scop s-au folosit, în epoca de dezvoltare a tehnicii tuburilor de raze X, unele dispozitive de regenerare a tubului. Cu ajutorul acestor dispozitive se introduce gaz în tub, folosind fenomenul de difuziune a gazelor prin paladiu încălzit (osmoregulatorul lui Villard, fig. 548); uneori se introduce o cantitate

mică de gaz cu ajutorul unor substanțe speciale așezate în tubul regeneratorului.

Instalațiile moderne de raze Röntgen cu tuburi ionice au pompe cu funcționare continuă; reglind funcționarea sistemului de pompare, se poate asigura o presiune constantă a gazului din tub, și deci o anumită constantă a lungimii de undă a razelor X produse.

În paragraful referitor la emisiunea razelor Röntgen s-a arătat că energia totală a emisiunii se exprimă prin formula

$$E = A \cdot i \cdot Z \cdot V^2$$

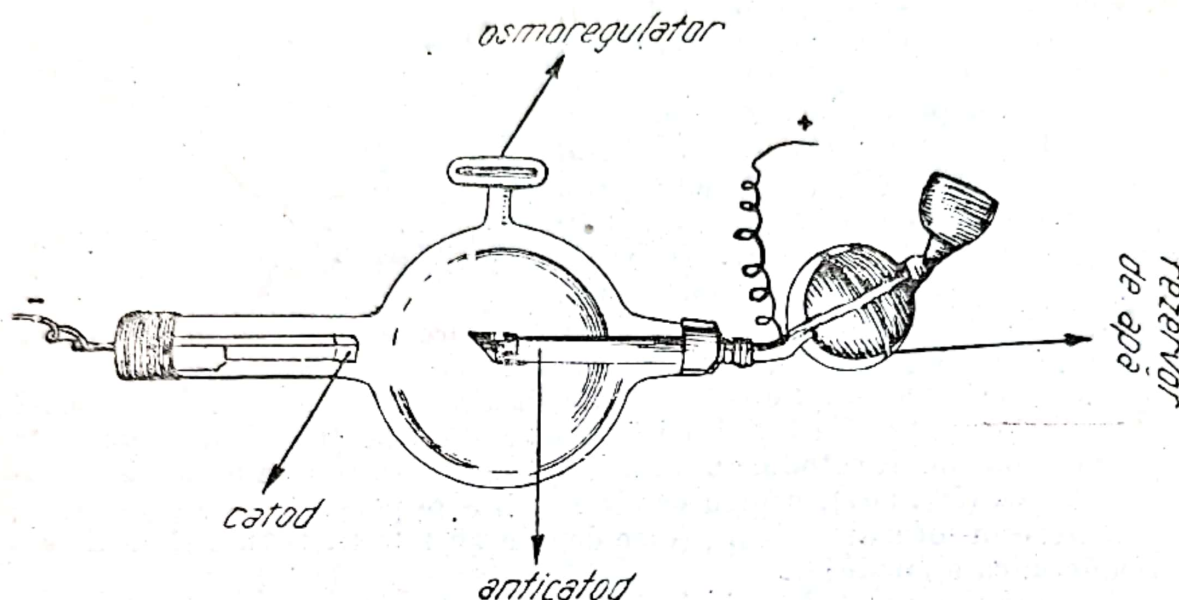


Fig. 548 — Tub Röntgen cu osmoregulator.

Rezultă evident, pentru tehnica radiologică, necesitatea ca numărul atomic Z al substanței din care este confecționat anodul să fie mare. De aceea, anticatodul tuburilor radiologice este construit dintr-un metal de număr atomic mare, cum ar fi wolframul ($Z = 74$), platina ($Z = 78$) sau molibdenul ($Z = 42$).

În afară de aceasta, la anod, energia cinetică a electronilor incidenti se transformă în cea mai mare parte în energie termică; de aceea, anticatodul este construit dintr-un metal greu fuzibil și are o conductibilitate termică mare, care-i asigură o bună răcire. De obicei, anozii tuburilor ionice de raze X se construiesc din cupru, care are o bună conductibilitate termică, iar porțiunea anodului pe care se produce frinarea electronilor (oginda anticatodului) se fabrică din wolfram, platină sau molibden. Suprafața anticatodului are formă de disc circular cu diametrul de 10—20 mm și grosimea de aproximativ 2—3 mm; ea este sudată de bara de cupru a anticatodului.

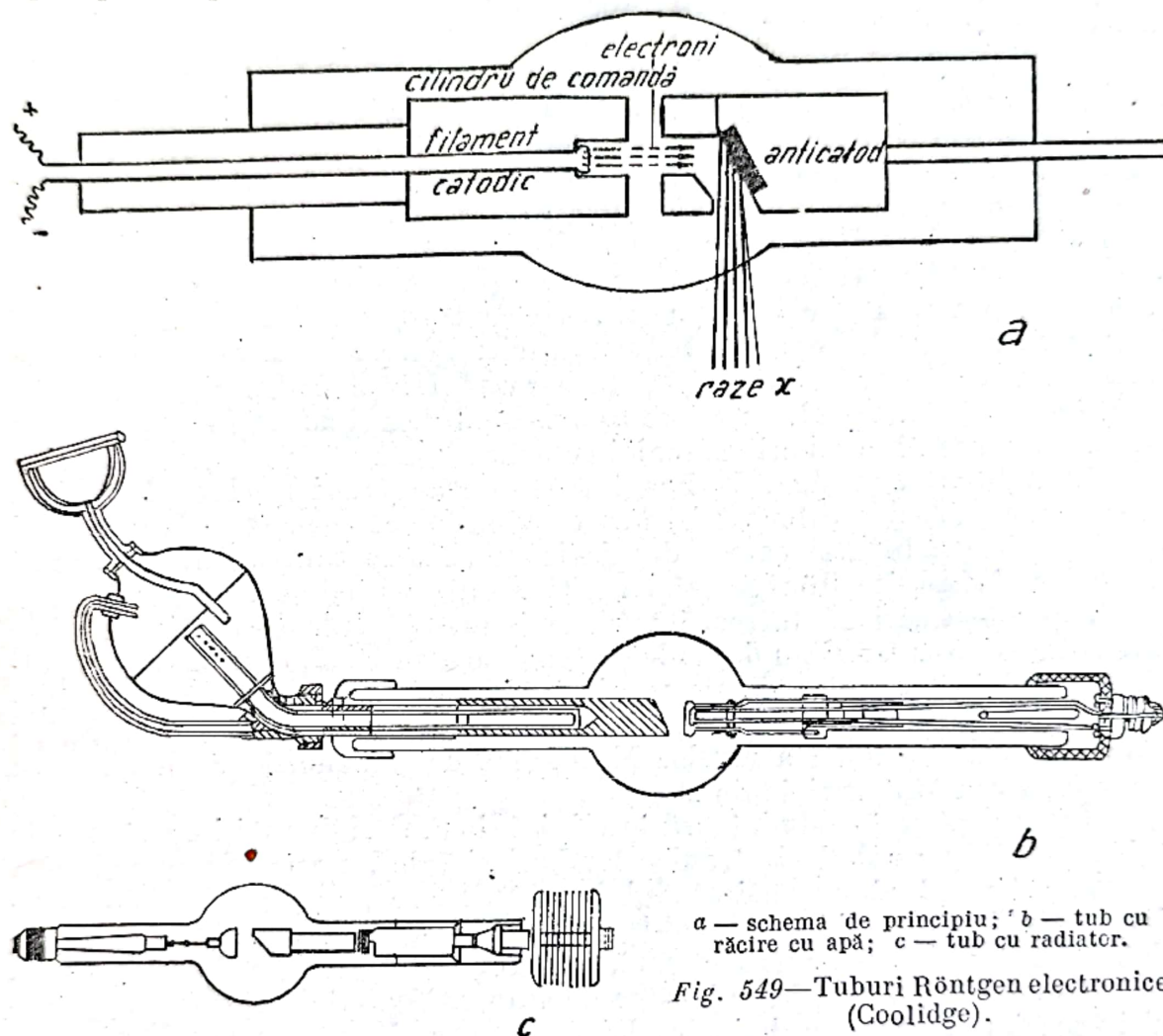
În tuburile ionice folosite în radiologia medicală, anticatodul, ori numai suprafața anticatodului, este orientată cu un unghi de aproximativ 45° față de axa catodului. Anticatodul este format dintr-un cilindru gol de cupru cu oglinda de wolfram, și este răcit cu apă. Apa încălzită la anticatod trece prin convecție într-un rezervor exterior, ai cărui pereți servesc drept radiator de căldură. Răcirea anticatodului se poate face și cu ajutorul aerului, care era răcit în afară cu un radiator cu palete.

Pentru cercetările de laborator este folosit un tub ionic demontabil, de metal, legat de o pompă care lucrează permanent. Învelișul metalic al tubului

are pereții dubli, între care circulă apa de răcire. Anodul tubului este prevăzut cu oglinzi anticatodice de diferite metale, care pot fi substituite după necesitatea cercetărilor. În fața anticatodului se află, în tub, o fereastră acoperită cu o foie de aluminiu de 0,01 mm, prin care pot ieși razele X.

Tuburile ionice pot lucra la tensiuni pînă la 1 MV și curenți pînă la 30 mA.

b) **Tuburile electronice pentru raze Röntgen.** Aceste tuburi generatoare de raze Röntgen sînt mai perfecționate decît tuburile ionice. Ele au înlocuit aproape complet pe cele ionice în radiologia medicală. În tuburile electro-



a — schema de principiu; b — tub cu răcire cu apă; c — tub cu radiator.
Fig. 549—Tuburi Röntgen electronice (Coolidge).

nice nu se află gaz, așa că ele nu au neajunsul principal legat de prezența gazului în tuburile ionice.

În tuburile de raze X de tip Crookes, trecerea curentului de înaltă tensiune era făcută cu puțință datorită electronilor razelor catodice produse în urma ionizării gazului rezidual din tub și accelerate de tensiunea de la electrozii tubului.

În tubul electronic, gazul nu intervine aproape de loc, vidul fiind foarte înalt ($10^{-6} \dots 10^{-7}$ mm Hg, deci $\approx$ a 10-a miliarde parte dintr-o atmosferă).

În fig. 549 este reprezentat cel mai simplu tub electronic pentru producerea de raze X. Elementele sale principale sînt: catodul, care este un filament de wolfram încălzit cu ajutorul unui circuit separat, de mică tensiune, și anodul de cupru cu oglindă de wolfram sau alt metal greu fuzibil

și de număr atomic mare; anodul are și rol de anticatod. Electronii liberi necesari pentru excitarea anticatodului și producerea de raze X se obțin — cum am arătat — prin efectul termoelectronic, adică prin extragerea electronilor din catodul încălzit.

Ideea utilizării tubului Röntgen cu filament incandescent de wolfram drept sursă de electroni a fost expusă în 1910 de fizicianul rus P. N. Lebedev. În 1913, fizicianul american W. D. Coolidge a descris un tub Röntgen bazat de asemenea pe emisiunea termoelectronică a filamentului catodic. Vidul foarte înăunțat era realizat cu o pompă moleculară Gaede.

Tuburile electronice pentru producerea razelor Röntgen sînt adesea numite *tuburi Coolidge*.

Din tubul electronic se îndepărtează cu grijă aerul, pentru a se realiza o presiune cît se poate de coborîtă (sub 10^{-6} mm Hg). Fasciculul îngust de electroni din catodul încălzit, accelerat prin acțiunea cîmpului electric stabilit de tensiunea anodică mare, cade asupra anticatodului, care, ca și în cazul tubului ionic, constituie sursa de raze X.

La tubul Coolidge, concentrarea fasciculului electronic neputîndu-se face cu ajutorul unui catod în formă de oglindită convergentă, se întrebuintează, pentru a se obține un focar concentrat, un cilindru de comandă în care se așază filamentul catodic încălzit. Pentru a se obține mărimea necesară a focarului trebuie să se așeze catodul în cilindru la o adîncime bine determinată: astfel, cu cît se așază catodul mai adînc în cilindru, cu atît focarul are dimensiuni mai mici pe anod.

Și la tubul Coolidge, lovirea intensă cu electroni produce încălzirea anodului, ceea ce poate duce chiar la topirea lui sau, în orice caz, la tulburări în funcționarea lui din cauza degajării de gaze în tub. De aceea, anozii tuburilor electronice Röntgen sînt răciți cu apă sau cu aer.

Tuburile Coolidge lucrează totdeauna în regim de saturație, în care intensitatea curentului nu depinde de tensiunea anodică, ci numai de încălzirea catodului emițător de electroni. Astfel, prin varierea încălzirii catodului se reglează cantitatea de raze X, adică intensitatea radiației X, pe cînd lungimea de undă a razelor X depinde de tensiunea de la electrozi așa cum s-a arătat mai înainte.

În prezent se întrebuintează în clinică două modele mai importante de tuburi Coolidge: tubul electronic standard și tubul electronic cu radiator.

Tubul standard are anticatodul format dintr-o placă (oglindă) de wolfram sudată la extremitatea unei bare de molibden. Molibdenul nu are conductibilitatea termică mare, așa că nu încălzește mult peretele de sticlă, ci transmite în spațiul înconjurător căldura anticatodului printr-un dispozitiv special de răcire cu baie de ulei sau cu aer. Acest tub funcționează la tensiuni mari, adică produce raze X penetrante (dure), și este folosit mai mult în radioterapie. El poate suporta un curent de 3—4 mA și o tensiune de 300 kV. Intensitatea curentului de alimentare poate atinge la radiografii profunde și 200 mA, însă numai prin impulsuri de foarte scurtă durată.

Anticatodul tubului Coolidge-standard, devenind incandescent în timpul funcționării, poate emite și el electroni, aceasta în cazul că tubul este străbătut de alternanța inversă, care ar da anticatodului o polaritate negativă.

Această emisiune nedorită strică tubul și de aceea trebuie apărută instalația prin redresori de curent sau supape (kenotroni).

Tubul Coolidge cu radiator se deosebește de tubul standard prin faptul că anticatodul său rămîne rece în timpul funcționării. Anticatodul este format dintr-o placă de wolfram sudată la o bară de cupru, care, la exterior

este continuată cu un radiator format din rondelle de asemenea de cupru. Tubul acesta nu este folosit la tensiuni mai mari de 100 kV, pentru a nu se încălzi anticatodul. În regim permanent, tubul cu radiator poate suporta un curent de 3 mA la tensiunea de 100 kV; pentru radiografii profunde, intensitatea poate atinge și 100 mA, însă numai prin impulsuri extrem de scurte.

Tubul electronic cu radiator prezintă anumite avantaje: el nu poate fi străbătut de curent decât într-un singur sens, deoarece anticatodul său este prea rece pentru a putea emite electroni prin efectul termoelectronic. Tubul face deci singur serviciul de supapă, ca orice tub electronic, și poate fi legat direct la secundarul unui transformator. Răcirea tubului făcându-se printr-un radiator exterior, tubul poate fi închis complet într-un înveliș de protecție.

Pentru radiografii de foarte scurtă durată se întrebuintează și un *tub electronic cu anticatod rotitor*. În acest tub catodul este incandescent, iar anticatodul este format dintr-un con care are o mișcare de rotație în jurul axului său datorită unui dispozitiv (rotor și stator) similar electromotoarelor. Punctul de excitare a anticatodului se află pe generatoarea conului. Un condensator de capacitate mare se încarcă încet, timp de 10–15 secunde, printr-un transformator și se descarcă dintr-o dată în tub. Radiografia durează numai cît timp se descarcă condensatorul, deci un timp foarte scurt. În timpul, oricît de scurt, al acestei descărcări, fasciculul catodic are contact cu o suprafață mare a anticatodului în rotație, deci focarul se formează mereu pe o suprafață rece.

Un tub similar, de construcție mai recentă, are anticatodul în formă de disc tronconic. Fasciculul catodic cade excentric pe anticatodul în rotație, și astfel razele X pornesc mereu dintr-o regiune rece.

Pentru radioterapia profundă, tuburile Röntgen electronice trebuie să fie construite pentru o tensiune ridicată. Se construiesc astfel tuburi metalice legate cu pompe de vid, care intră automat în funcțiune de îndată ce presiunea este mai ridicată decât cea necesară. O astfel de instalație poate da o tensiune de 600 kV și un curent de 4 mA.

Se construiesc de asemenea tuburi Röntgen moderne, la care accelerarea electronilor se face cu aparate *betatron* (care vor fi descrise în capitolul despre „Radioactivitate”). La aceste tuburi pornește de la anticatod un fascicul de raze Röntgen strict limitat, formînd un unghi solid de $6...7^\circ$. Faptul are deosebită importanță în radioterapie, fiindcă asigură o distribuție favorabilă a dozei de raze la o anumită adîncime, maximul dozei aflîndu-se la o distanță de 3...4 cm de suprafață (fig. 551).

Pentru radioterapia superficială, precum și pentru analiza structurală a cristalelor, se folosesc radiații Röntgen moi (de lungime mare de undă). Aparatele medicale sînt însă deosebite, în ce privește construcția, de cele pentru cercetări structurale. Astfel, aparatul medical Bucky utilizează un anticatod de cupru, care dă aproape numai radiația *K* a acestui element, ungimea de undă fiind $1,54 \text{ \AA}$. Se obțin raze Röntgen moi de 2 și 3 $\text{\AA}$.

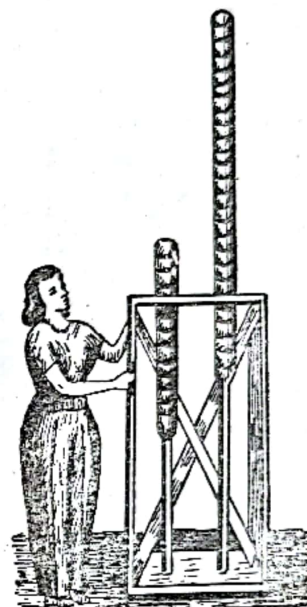


Fig. 550 — Tuburi Röntgen pentru 1 MV și pentru 2 MV.

Pentru analiza structurală se folosesc anticatozi de nichel, cobalt, fier și crom. Unele din aceste metale dau radiații atât de moi, încît sînt oprite chiar de peretele de sticlă al tubului Röntgen; de aceea se practică în fața anticatodului, în peretele de sticlă, o fereastră de sticlă de litiu și beriliu, care lasă să treacă ușor razele moi. Realizarea röntgenogramei structurale durînd cîteva ore, tubul de raze X moi trebuie să suporte o sarcină de lungă durată fără ca anodul să se supraîncălzească; de aceea se folosește deseori răcirea anodului prin circulația apei.

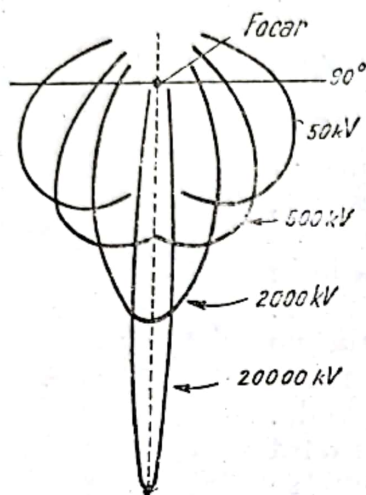


Fig. 551— Fasciculul de raze Röntgen emise de un tub, la care accelerarea se face cu betatronul.

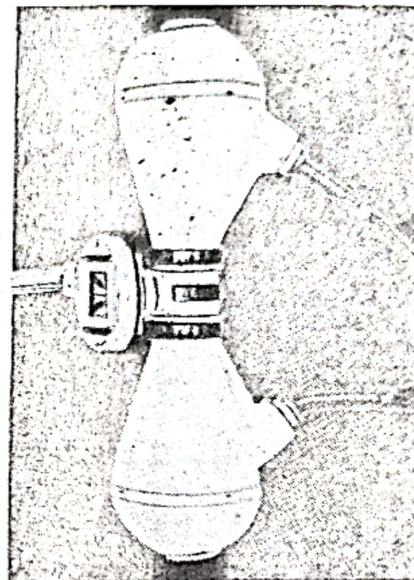


Fig. 552—Tub Röntgen blindat.

Pentru radiosopia pieselor metalice se construiesc tuburi de raze X pentru un milion și 2 milioane volți (fig. 550).

În general, în instalațiile Röntgen moderne, alimentarea filamentelor incandescente ale catodilor tuburilor Coolidge și ale redresorilor de înaltă tensiune se face de la sursa de curent alternativ care alimentează și înfășurarea primară a transformatorului principal. Catodii aflîndu-se însă sub tensiune înaltă în raport cu pămîntul, alimentarea filamentelor se face cu ajutorul unor transformatori de încălzire, a căror înfășurare secundară are o izolație corespunzătoare.

În aparatele moderne, tubul Röntgen se instalează într-un înveliș special, numit cupolă. Cu aparatele astfel blindate și din punctul de vedere al înaltei tensiuni și al radiațiilor Röntgen serealizează protecția personalului radiologic și cea a pacienților. Fig. 552 reprezintă un tub Röntgen blindat.

Datorită faptului că aparatele Röntgen au puteri relativ mici, rigiditatea dielectrică a părții de înaltă tensiune poate fi mai mică decît la alte aparate de înaltă tensiune. Aceasta permite să se asigure aparatelor Röntgen o formă compactă, o greutate mică și o deservire comodă.

C. MĂSURĂTORI CALITATIVE ȘI CANTITATIVE ÎN RADIOLOGIE

Razele Röntgen se caracterizează prin calitatea și prin cantitatea lor. Calitatea razelor X constă în însușirea lor de a pătrunde, în duritatea lor. După cum s-a arătat, calitatea razelor X depinde de viteza electronilor

care alcătuiesc razele catodice, și deci de tensiunea aplicată electrozilor tubului Röntgen.

Cantitatea de raze emise depinde de numărul de electroni emiși de catod.

Metodele de determinare calitativă sînt cunoscute în radiologie sub numele de *calitometria razelor X*, iar cele de determinare cantitativă sînt numite *cantitometria (dozimetria) razelor X*.

1. DETERMINAREA CALITĂȚII RAZELOR RÖNTGEN

a) **Metoda analizei spectrale.** Metoda științific riguroasă de a determina calitatea radiației este stabilirea compoziției sale spectrale, prin metodele pe care le-am descris. Calitometria, care are drept bază analiza spectrală, servește, prin precizia ei, pentru control și etalonare în aplicarea celorlalte metode. Pe această cale se determină direct calitatea razelor Röntgen măsurînd lungimea lor de undă cu ajutorul formulei lui Bragg (studiată mai înainte):

$$\lambda = 2 d \sin \varphi.$$

Pentru practica radiologică, folosirea acestei metode cere însă prea mult timp.

b) **Metode indirecte.** Calitatea razelor Röntgen se poate determina prin procedee indirecte, bazate pe măsurarea, fie a tensiunii din circuitul de alimentare a tubului, fie a absorbției razelor.

Tensiunea la electrozii tubului se apreciază după mărimea scintei echivalente care se produce la un scinteiector montat în derivație cu tubul Röntgen. Scinteiectorul a fost construit de Beclère și numit de el *spintermetru* (*spinteros* = scinteie). Acesta constă dintr-o armătură metalică fixă și una care este mobilă de-a lungul unei scări gradate.

Se apropie armăturile metalice ale scinteiectorului pînă ce se produce descărcarea între ele. În acest moment avem scinteia echivalentă, care dă măsura tensiunii maxime de la electrozii tubului. Mărimea scintei echivalente care se produce la spintermetru depinde de tensiunea dintre armăturile spintermetrului și de forma lor.

În tabelul 50 se arată tensiunile corespunzătoare distanței dintre două armături sferice de 6,25 cm $\varnothing$ ale unui spintermetru, în condiții atmosferice normale.

Această tensiune de vîrf este factorul cel mai important pentru evaluarea calității radiației, fiindcă intensitatea globală a radiației X crește cu pătratul diferenței de potențial. Pe de altă parte, lungimea de undă minimă λ_0 este legată de tensiunea de vîrf prin relația cuantică examinată

$$\lambda_0 = \frac{12\,340}{V},$$

unde V este exprimat în volți și λ_0 în angströmi.

Absorbția fasciculului de raze Röntgen este de asemenea utilizată pentru determinarea calitometrică a razelor X. Pentru aceasta se folosește radiocromometrul lui Benoist. Radiocromometrul, care datează încă din primii ani ai radiologiei, este format dintr-un disc central de argint de 0,11 mm grosime în jurul căruia sînt așezate 12 sectoare de aluminiu, avînd grosimea

Tabelul 50

Tensiunea maximă (kV)	Scinteia echivalentă (cm)
28,2	0,86
42,5	1,41
56,5	1,92
70,7	2,50
85,0	3,20
99,0	3,95
113,0	4,90
127,5	6,05

de la 1 la 12 mm. Argintul prezintă între anumite limite (40—80 kV), aceeași transparență pentru diferitele radiații X. La aluminiu, pentru o radiație foarte dură este nevoie de o lamă groasă pentru a da aceeași absorbție ca argintul.

Interpunind radiocromometrul lui Benoist (fig. 553) între tubul de raze X și ecran și cât mai lipit de acesta, se privește numărul sectorului de aluminiu a cărui umbră pe ecran poate fi considerată ca fiind de aceeași opacitate cu discul central de argint. Dacă opacitatea discului este egală, de exemplu, cu cea a sectorului 7, se spune că razele X sînt de 7 grade Benoist.

Tabelul 51 arată corespondența dintre cîteva grade Benoist și lungimile de undă ale razelor Röntgen.

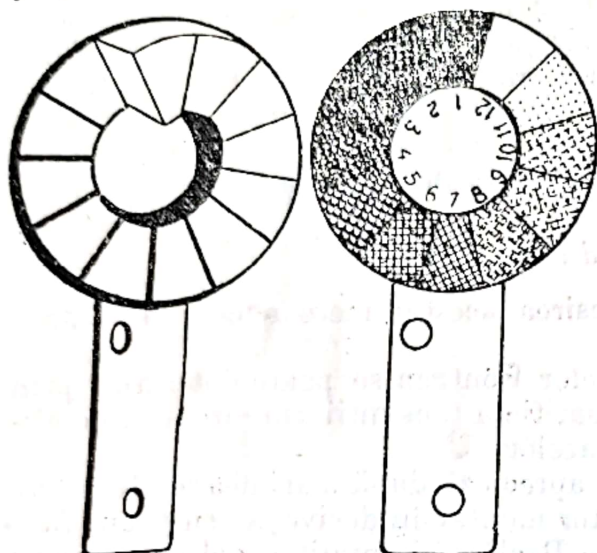


Fig. 553 — Radiocromometrul Benoist.

Tabelul 51

Tensiunea (kV)	Grade Benoist	Lungimea de undă (Å)	Duritatea
40	4	0,40	semimoi
45	5	0,35	mijlocii
50	6	0,29	mijlocii
60	7	0,29	semidure
70	8	0,23	semidure
80	9	0,19	dure

Indicațiile date de radiocromometrul lui Benoist nu sînt însă exacte decît pînă la 9°, ceea ce corespunde unei tensiuni de 80 kV;

pe măsură ce radiațiile devin mai penetrante, aluminiul absoarbe din ce în ce mai puțin, în timp ce argintul absoarbe din ce în ce mai mult razele X.

2. MĂSURAREA CANTITĂȚII RAZELOR X (CANTITOMETRIE)

Pentru determinarea cantitativă a energiei totale a radiației Röntgen primită pe o suprafață anumită, într-un anumit timp, trebuie ca întreaga cantitate de energie să fie absorbită de un corp material și trebuie să măsurăm cantitatea de căldură în care s-a transformat energia absorbită.

În practica radiologică, această metodă, foarte greoaie, este neaplicabilă. De aceea se folosesc în cantitometrie unele determinări indirecte.

Unele din proprietățile fizice și chimice ale razelor Röntgen variind aproximativ proporțional cu cantitatea de radiații, s-au alcătuit metode cantitometrice care permit măsurarea energiei razelor X pe baza variațiilor amintite.

a) **Metode fizice.** S-au elaborat numeroase metode fizice de determinare cantitometrică a razelor Röntgen. Cele mai importante sînt metodele ionometrice.

Metoda Benoist și Hurmuzescu. Încă la începutul radiologiei, Benoist și Hurmuzescu au semnalat acțiunea razelor X asupra corpurilor electrizate și au propus utilizarea electroscopului ca mijloc de studiere a acestor raze. Măsurînd timpul în care un electroscop încărcat se descărca sub influența razelor X, ei considerau inversul acestui timp ca măsură a cantității de raze căzute asupra aparatului. Prin această metodă, Benoist și Hurmuzescu

au demonstrat că intensitatea radiației X urmează sensibil legea pătratului distanței, și au dovedit că și fasciculul de raze X este eterogen.

Metoda Villard. Villard a imaginat un aparat pe care l-a numit radiosclerometru, bazat, ca și metoda electroscopului lui Benoist și Hurmuzescu, pe ionizarea aerului de către razele X. El a propus drept unitate fundamentală a cantității de raze X cantitatea care eliberează prin ionizare o unitate electrostatică pe cm^3 de aer, în condițiile normale de temperatură și presiune.

Ionometria. Metoda este bazată pe fenomenul ionizării unui gaz care primește un fascicul de raze X. Se știe că gazele au în condiții normale o slabă conductibilitate electrică; aceasta crește considerabil sub acțiunea razelor ultraviolete, razelor catodice, razelor X, radiațiilor radioactive și razelor cosmice. Creșterea conductibilității se datorește faptului că moleculele gazului sînt disociate: unii atomi pierd un electron periferic, care se atașează de un alt atom sau grup de atomi; primul devine ion pozitiv, celălalt devine ion negativ. Avînd sarcini electrice, ionii se pot dirija în câmpul electric, spre electrozii de semn contrar sarcinii lor, și produc astfel un curent electric prin gaz.

Un fascicul de raze Röntgen, care traversează o masă gazoasă, provoacă expulzarea din atomii de gaz a unor electroni, cu o energie cinetică foarte mare. Fiecare electron lovind o moleculă neutră, aceasta va da naștere unei perechi de ioni de semn contrar. Numărul de ioni astfel formați constituie o măsură a energiei cinetice a electronilor, adică aproximativ a puterii pe care radiația a trecut-o gazului. Numărul de ioni poate fi evaluat prin măsurarea sarcinii totale pe care ei o trec electrozilor metalici, între care există o diferență de potențial ce nu permite ionilor recombinația înainte de a fi colectați; aceasta revine la a măsura curentul de saturație care se stabilește între electrozi, în condițiile experienței.

Curentul de saturație avînd, în aerul care umple camera de ionizare, o intensitate foarte mică, este măsurat cu ajutorul unui electroscop încărcat în prealabil; acest aparat are o sensibilitate de ordinul 10^{-12}A , deci superioară celei a galvanometrelor obișnuite.

Măsurarea ionizării se face cu anumite precauții, pentru ca rezultatele să fie cît mai precise. Camera de ionizare trebuie să fie așezată în așa fel încît electrozii să nu fie atinși direct de radiație; între electrozi trebuie să existe o anumită distanță (10 cm) etc.

În radioterapie se pot utiliza, pentru măsurătorile necesare, camere de ionizare de dimensiuni reduse, care să poată fi așezate cu ușurință într-un punct anumit de pe suprafața corpului subiectului. În camerele mici, electronii produși de razele Röntgen (electroni „primari”) întîlnesc însă perețele camerei de ionizare înainte de a-și fi epuizat întreaga lor energie în lucru de ionizare și produc astfel o emisiune de electroni „secundari”, de pe pereții camerei de ionizare; electronii secundari ionizează și ei gazul, mărindu-i conductibilitatea.

Fenomenul de ionizare suplimentară prin electronii emiși de pereții camerei de ionizare se numește *efectul perete*; datorită acestui fenomen curentul de ionizare crește în mod inegal. Dacă însă camera de ionizare este construită dintr-o substanță a cărei greutate atomică este apropiată de cea a gazului absorbant, efectul este neglijabil. De aceea se folosesc camere de ionizare cu pereți de grafit sau dintr-un amestec de carbon și siliciu (în raportul de 1:3).

Camerele mici de ionizare se etalonează cu ajutorul unor camere mari, lipsite cu totul de efectul perete; etalonarea se face pentru diferite categorii

de radiații. Se caută să se dea camerelor de ionizare o sensibilitate constantă pentru toate lungimile de undă utilizate; numai astfel se pot obține măsurări exacte și comparabile.

Unul din ionometrele mai folosite este *ionometrul Solomon*. În principiu, acest ionometru se compune dintr-o cameră mică de ionizare, legată printr-un conductor de un electrosco (fig. 554). Camera de ionizare este formată dintr-un cilindru de grafit, având în regiunea axială o vergea, de asemenea de grafit izolată cu grijă, cu ajutorul unei garnituri de chihlimbar. Această vergea este legată de foile electroscoului cu ajutorul unui conductor

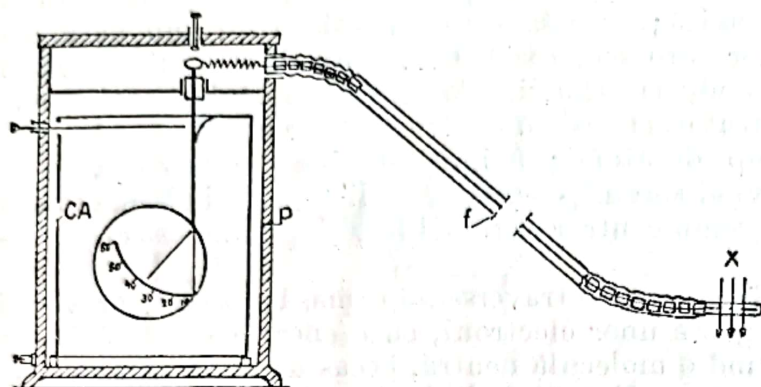


Fig. 554 — Ionometrul Solomon.

de oțel, așezat în interiorul unui tub metalic și izolat de pereții acestuia. Electroscoful are foițele de aur sau de aluminiu. El cuprinde un condensator mare și un condensator mic, care permite să se varieze sensibilitatea aparatului. Electroscoful este așezat într-o incintă de plumb, care-l protejează împotriva razelor X parazite și contra acțiunilor electrostatice. Se încarcă electroscoful repede cu ajutorul unei mici mașini electrostatice acționată printr-o manivelă. Imaginea foiței de aur sau de aluminiu este dată pe o sticlă translucidă, cu ajutorul unui sistem optic, pe un cadran gradat în 60 de diviziuni.

Pentru măsurarea intensității radiației, se expune camera de ionizare la radiația tubului de raze Röntgen, după ce s-a încărcat electroscoful, și se măsoară durata de cădere a foiței metalice de la diviziunea 60 la diviziunea 10 a cadranelui. Intensitatea radiației se obține din expresia următoare

$$J = \frac{K_1}{t},$$

unde K_1 este o constantă a aparatului, corespunzând condensatorului utilizat, iar t este timpul de cădere a foi de la diviziunea 60 la diviziunea 10 a cadranelui.

Această măsurătoare nu este influențată de variațiile de intensitate care se produc în cursul iradierii, așa că nu au loc erori în evaluarea cantității („dozei”) de radiații aplicate.

Un alt aparat, care permite să se urmărească progresarea dozei administrate în tot timpul iradierii, este *dozimetrul Siemens*. Acest indicator ionometric arată în fiecare moment, printr-o simplă lectură a poziției acului care se deplasează pe cadranul aparatului, valoarea dozei de raze Röntgen aplicată. Indicatorul Siemens se așază lângă pupitrul de comandă al generatorului, iar camera de ionizare, similară celei a ionometrului lui Solomon, se află la pacient; operatorul poate astfel urmări în fiecare moment valoarea intensității radiației primite de pacient.

Unitatea întrebuințată pentru măsurarea intensității radiației Röntgen și deci a dozelor aplicate pacienților în diferitele cazuri este röntgenul (r), unitate adoptată la congresul internațional de radiologie de la Stockholm, din 1928. Această unitate internațională, legată de sistemul CGS, reprezintă

cantitatea de radiație care eliberează o unitate electrostatică de electricitate, într-un centimetru cub de aer, la temperatura de 0° și la presiunea de 760mm Hg, utilizarea electronilor fiind completă și fără efect perete.

b) **Metode chimice.** Această categorie de metode, care cuprinde uneori și procedee biochimice, se bazează pe faptul că efectul chimic al razelor Röntgen variază de multe ori paralel cu efectul lor biologic. Se admite că modul de absorbție a substanței care servește la dozarea razelor X și cel de absorbție a țesuturilor corpului omenesc sînt aceleași. De aceea, substanțele cu greutate atomică ridicată nu sînt reactivi potriviți pentru măsurarea cantitometrică, țesuturile fiind alcătuite din elemente ușoare (C, H, O, N etc.).

Procedeele chimice sînt bazate pe virarea culorii unei substanțe sub acțiunea razelor X. Aceste procedee prezintă astăzi numai un interes istoric, ele nemaifiind utilizate în practica radiologică. În cantitometrie a fost utilizată unitatea H , adoptată în unul din aceste procedee chimice; ea a fost propusă de Holzknecht în 1902, și corespunde aproximativ cu a patra parte a dozei maxime, compatibile cu integritatea pielii obrazului unui adult (fără a suferi inflamații sau depilare temporară).

A mai fost folosit un dozimetru bazat pe acțiunea razelor Röntgen asupra hirtiei fotografice. În această metodă, unitatea adoptată se numește X și are valoarea

$$X = 0,1 H.$$

Un alt cantitometru folosește virarea culorii platinocianurii de bariu de la verde la cafeniu-deschis, și măsoară această culoare cu ajutorul unei celule fotoelectrice cu seleniu. Unitățile adoptate în această metodă se numesc unități F (după Furstenau).

În tabelul 52 sînt redată diferitele unități cantitometrice folosite în dezvoltarea radiologiei și valorile lor reciproce și față de unitatea internațională r (röntgen), definită în 1928.

Tabelul 52

Raportul de mărime dintre diferitele unități cantitometrice

		H	X	F	R_S	R_B	r
H	Holzknecht	1	2	20	200	90	95,9
X	Xienbock	0,5	1	10	100	45	47,95
F	Furstenau	0,05	0,10	1	10	4,5	4,79
R_S	Solomon	0,005	0,01	0,1	1	0,45	0,48
R_B	Behnken	0,011	0,022	0,22	22	1	1,066
r	Röntgen internațional	0,01	0,02	0,2	2	0,94	1

D. RADIOLOGIE MEDICALĂ

De la începutul radiologiei și pînă în prezent, razele X au avut și au întrebuințarea cea mai largă în domeniul medical. La început, această folosire a fost numai pentru diagnostic, mai tîrziu a trecut și în terapie.

În celelalte domenii, radiologia a găsit treptat aplicări din cele mai importante, așa că astăzi ea este unul din cele mai prețioase mijloace de investigație și control în metalurgie, cristalografie, analiză structurală, în artă, administrație și alte domenii practice, tehnice și științifice.

1. DIAGNOSTICUL RADIOLOGIC

În medicină, razele Röntgen servesc, atât ca mijloc de explorare, cât și ca factor terapeutic. Metodele radiologiei medicale acoperă deci două domenii: radiodiagnosticul și radioterapia. De multe ori, în locul acestor denumiri, care, pe măsura dezvoltării radiotehnicii, pe de o parte, și a extinderii folosirii substanțelor radioactive, pe de altă parte, pot da naștere la confuzii, se întrebuițează denumirile: röntgendiagnosticul și röntgenterapia.

Diagnosticul cu ajutorul razelor X se realizează în două moduri:

a) ori se așază în fața tubului de rază X un ecran acoperit cu o substanță care devine fluorescentă în razele X și devine astfel mai mult sau mai puțin luminoasă, după cum țesuturile aflate între tubul de raze Röntgen și ecranul fluorescent absorb mai puțin sau mai mult radiațiile;

b) ori se așază, în locul ecranului fluorescent, un film fotografic, închis într-o cutie de carton sau de lemn, film care este mai mult sau mai puțin impresionat de razele X după ce acestea au traversat diferitele țesuturi ale corpului.

După cum am arătat mai înainte, inegalitatea de absorbție pe care o prezintă diferitele substanțe, aflate în condiții egale, este datorită greutateii lor atomice diferite; absorbția diferențială a țesuturilor și organelor mai este datorită și structurii moleculare, mediului în care se află sau care se află în ele etc. Astfel, plămînii, care conțin o cantitate mare de aer, sînt ușor străbătuți de razele X, pe cînd oasele sînt mai greu străbătute de aceste raze.

Unele organe se pot deosebi mai greu de cele din jur, deoarece au aproape aceeași structură; pentru a le face vizibile, trebuie umplute cu gaz ori, dimpotrivă, opacificate prin substanțe foarte intens absorbante pentru razele Röntgen. În această din urmă categorie se află organele tubului digestiv. Alte organe (inima) și diferitele produse fiziopatologice au o absorbție mai mare față de mediul imediat vecin, așa că pot fi examinate mai cu ușurință.

Din cele arătate pînă acum reiese că radiodiagnosticul se poate face pe două căi: *radioscopia*, metodă care folosește ecranul fluorescent pentru examinarea imaginii radiologice, și *radiografia*, la care se întrebuițează filmul fotografic. S-au mai imaginat și procedee derivate, despre care va fi vorba la descrierea fiecăreia din cele două metode principale de diagnostic.

Pentru a se putea obține o imagine care să redea cât mai fidel obiectul și care să poată fi interpretată astfel încît să permită o justă explorare a corpului omenesc, experiența de 6 decenii de radiologie medicală a dus la alcătuirea și perfecționarea unei tehnici radiologice, atât în radioscopie, cât și în radiografie.

a) **Radioscopia.** Radioscopia sau röntgenoscopia (uneori, abreviat, „scopia”) constă din examinarea umbrelor pe ecranul radiologic (acoperit de obicei cu platinocianură de bariu) și permite studiul formei și poziției diferitelor organe și urmărirea funcționării acestora. Examenul se face cu ajutorul unor aparate speciale de radioscopie (fig. 555).

Razele Röntgen propagîndu-se în linie dreaptă, orice corp opac pentru aceste raze, așezat în calea lor, va proiecta pe ecran o umbră; forma și mărimea acestei umbre depind de mărimea fasciculului de radiații și de poziția obiectului față de tub și de ecran.

Examenul radioscopic se face într-o cameră întunecoasă, deoarece lumina emisă de ecranul fluorescent este slabă față de lumina zilei sau de lu-

mina electrică. Pentru a putea observa bine ecranul, trebuie să ne adaptăm vederea la obscuritatea camerei de radiologie; adaptarea de la lumină la întuneric se face mai greu decât cea inversă, așa cum s-a arătat la studiul iluminării.

Un dispozitiv introdus în ultima vreme permite și radiosopia într-o sală luminoasă. Acest dispozitiv este alcătuit dintr-o cameră obscură mobilă, în formă de trunchi de piramidă, confecționată dintr-un material opac pentru lumină și destul de ușor; ca bază mare are un ecran radiosopic, iar ca bază mică vizorii, ce se adaptează cu ajutorul unei piese de piele sau de catifea neagră, ca niște ochelari de vînt. În modul acesta, lumina nu pătrunde în camera obscură portabilă (fig. 556) și radiologul poate examina ecranul, deși în sală este lumină. Se înțelege ușor că și utilizarea acestui ecran portabil cere o anumită adaptare a vederii.

Dacă ecranul radiologic are strălucire mai mare, se pot face radiosopii și într-o încăpere luminată, însă nu prea puternic.

Pentru a face o radiosopie, subiectul este așezat între tubul de raze Röntgen și ecranul fluorescent. Se închide circuitul de alimentare a filamentului tubului electronic de raze X și după cîteva secunde se închide și circuitul care dă tensiunea la bornele tubului (circa 60 kilovolți); intensitatea curentului folosit în radiosopie este de 4 miliamperi.

Se observă pe ecran umbrele (imaginile radiologice) mai mult sau mai puțin întunecoase ale diferitelor organe și țesuturi.

În ceea ce privește imaginea, s-a arătat la studiul umbrelor — în capitolul de optică geometrică — că, pentru ca imaginea să aibă mărimea cît mai apropiată de cea a obiectului, acesta trebuie să se afle cît mai aproape de ecran, iar izvorul de radiații, în acest caz tubul de raze Röntgen, trebuie să fie cît mai departe de obiect, în limitele permise de construcția aparatului. Obiectul trebuie să se afle în axa fasciculului de raze X, pentru ca imaginea să aibă o formă cît mai apropiată de cea a obiectului (fig. 557).

O condiție importantă este cea a izvorului punctiform. Cum în practica radiologică se poate obține cu greu un izvor punctiform, se caută ca izvorul de raze X să aibă secțiunea cît mai mică, pentru ca penumbrele să fie cît mai mici. Un fascicul de radiații cu o secțiune cît mai mică, o apropiere cît mai mare a obiectului de ecran, o depărtare a tubului de obiect cît permite luminozitatea, reduc penumbrele la dimensiuni care nu dăunează calității imaginii.

Pentru a obține un izvor apropiat de cel punctiform se utilizează o diafragmă metalică, opacă la razele Röntgen; printr-un dispozitiv anumit,

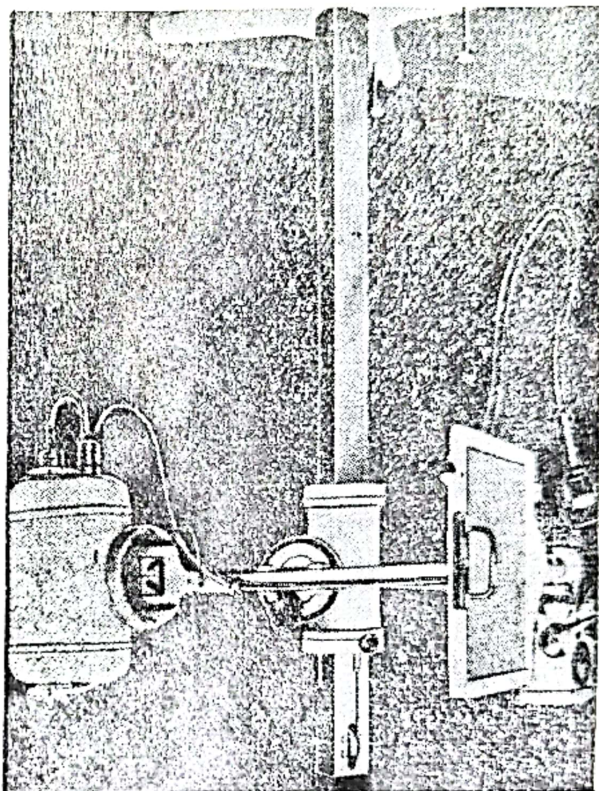


Fig. 555—Aparat Röntgen pentru radiosopie.

fie în forma diafragmelor iris, fie sub forma a două lame cu deschidere triunghiulară și care se deplasează una față de alta, se obține o deschidere mai mare sau mai mică a diafragmei, și deci o secțiune anumită a fasciculului de raze Röntgen.

După un anumit timp, ecranul acoperit cu platinocianură de bariu nu mai este sensibil la razele X: el nu mai capătă culoarea verzuie caracteristică fluorescenței platinocianurii de bariu, ci o culoare mai închisă, cafenie, care nu mai permite observarea contrastelor dintre lumină și umbră. Ecranul se regenerează dacă este expus cîtva timp la lumina solară.

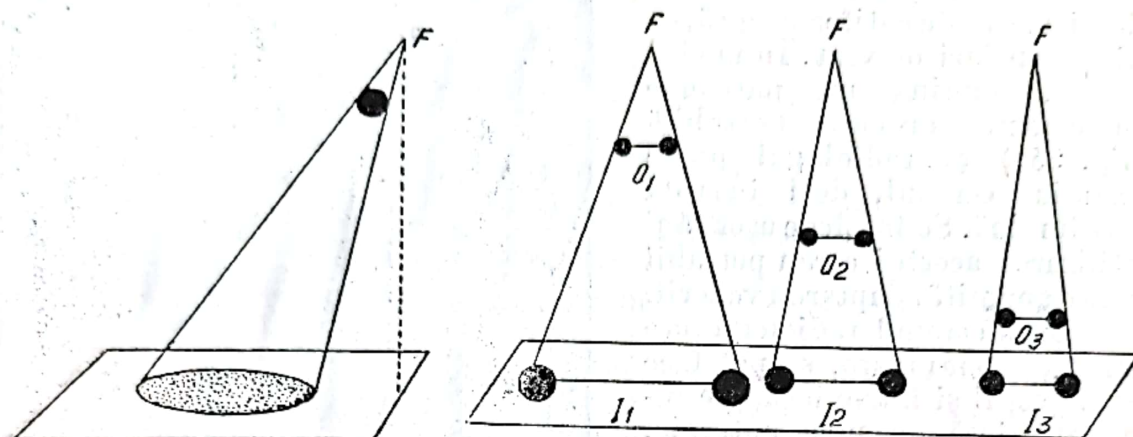


Fig. 556 — Obiectul trebuie să se afle cît mai aproape de ecran și cît mai în axa fasciculului de raze Röntgen pentru ca imaginea să se apropie de mărimea și forma obiectului.

În ce privește opacitatea mai mică sau mai mare a organelor, despre care am amintit mai înainte, trebuie să arătăm că se folosesc o serie de procedee pentru a obține contrastul luminos acolo unde el nu există.

Organele respiratorii se pot examina pe ecran fără artificii. În poziția frontală se pot examina ușor plămîinii, umbrele coastelor, claviculelor și parțial ale omoplaților, proiectîndu-se pe cîmpul pulmonar, care este luminos din cauza greutatei atomice mici a elementelor componente ale aerului din plămîni. Umbrele scheletului sînt mobile în decursul mișcărilor respiratorii, așa că nu stînjenesc prea mult examenul radiosopic al plămînilui.

Examenul radiosopic al stomacului se poate face, fie injectînd aer în acest organ, fie dînd bolnavului să bea un amestec lichid care produce bioxid de carbon. De obicei, subiectul bea o soluție de 5 grame bicarbonat de sodiu și imediat după ea o soluție de 5 grame de acid tartric într-o cantitate potrivită de apă (poțiunea Rivieri). Amestecul se face în stomac, unde bicarbonatul de sodiu reacționează cu acidul tartric, punînd în libertate bioxid de carbon. Gazul umple stomacul, și acesta apare ca o zonă foarte luminoasă.

De cele mai multe ori, pentru stomac și în general pentru tubul digestiv, se folosește metoda de a mări artificial opacitatea, pentru ca organele să contrasteze cu cele din jur. În acest scop, se administrează bolnavului, pe stomacul gol, o suspensie de carbonat de bismut sau de sulfat de bariu (sub formă de preparate farmaceutice, aceste substanțe sînt amestecate cu amidon, dextrină, gumă etc., pentru fixarea de pereții tubului digestiv). Substanța insolubilă și opacă căptușește pereții tubului digestiv, așa că diferitele re-

giuni ale acestuia pot fi examinate, cînd suspensia a ajuns în locul respectiv, prin umbra accentuată pe care o dă pe ecranul radioscopic.

În peritonite, ulcer perforat, ocluzie intestinală, administrarea acestor preparate este contraindicată; examenul se face în aceste cazuri fără a introduce substanțe străine.

Uneori se administrează subiectului substanțe „de contrast” (în urologie), care permit pe traiectul lor o imagine radisocopică mai vizibilă a organului de examinat.

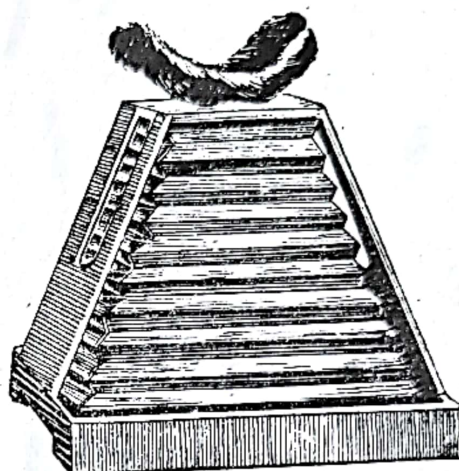
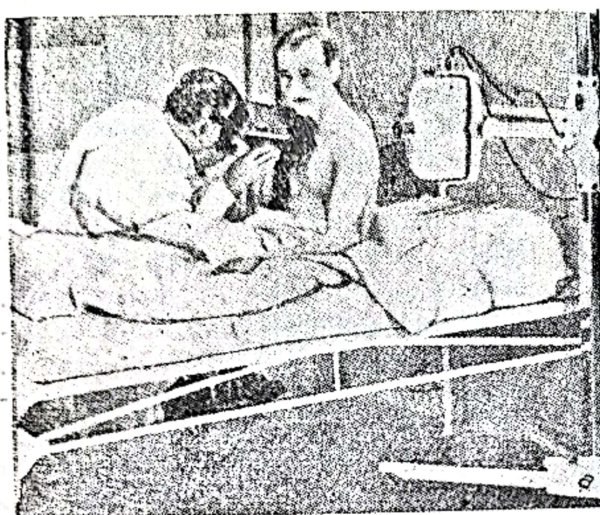


Fig. 557 — Radioscopie la lumina zilei, cu un ecran mobil formînd peretele dinspre pacient al camerei obscure prin care privește medicul.

Pentru inimă se caută obținerea unei imagini radioscopice care să aibă pe cît posibil chiar mărimea organului. Pentru aceasta, se dă tubului Röntgen o mișcare de translație în două direcții perpendiculare. Diafragma fiind mult micșorată, apare pe ecran un spot luminos; cu acest „ochi radiologic” se urmăresc toate punctele de contur ale organului; aceste puncte se înseamnă, fie cu un creion de ceară pe placa de sticlă care acoperă ecranul, fie cu un creion obișnuit pe un calc transparent aplicat pe ecran. Conturul obținut din unirea punctelor succesive care au dat umbra marginilor organului constituie o *ortodiagramă*; procedeul se numește *ortodiagrafie*.

b) **Radiografia.** În anumite cazuri este necesar să se fixeze pe filmul radiografic imaginea organelor examinate. Radiografia sau röntgenografia (mai scurt, uneori, „grafia”) nu prezintă numai un interes documentar, ci corespunde unor nevoi reale: radiografia permite să se studieze în amănunțime și în condiții de vizibilitate mai bună imaginea radiologică. În afară de aceasta, radiografia este indicată în mod special pentru studierea țesutului osos și articular, pentru căutarea și determinarea formei și mărimii calculilor și uneori pentru localizarea obiectelor metalice străine care au pătruns accidental în corp.

Tehnica radiografică se aseamănă cu cea radioscopică pînă la primirea imaginii: aci, filmul fotografic înlocuiește ecranul fluorescent. În ceea ce privește alimentarea tubului, aceasta se face, în general, cu o intensitate de 40 mA, tensiunea fiind de 60 kV. La o tensiune mai înaltă, radiografiase face prin impulsuri de foarte scurtă durată. Pentru redresarea curentului se utilizează, fie un contact rotitor, fie un montaj cu 4 kenotroni.

Tubul Röntgen este astfel montat încît poate lua toate pozițiile deasupra mesei pe care este culcat bolnavul. Pentru limitarea cîmpului de radiație, se întrebuintează un manșon cilindric sau conic. Dispozitivul poate bascula, astfel că radiografia se poate face cu bolnavul în picioare sau culcat (fig. 558).

Pentru a obține pe clișeu o imagine în același timp exactă și clară, partea examinată trebuie să se afle cît mai aproape cu putință de placa fotografică și la o distanță suficientă de tubul Röntgen, iar fasciculul de raze X trebuie să cadă normal pe pacient și pe placă.

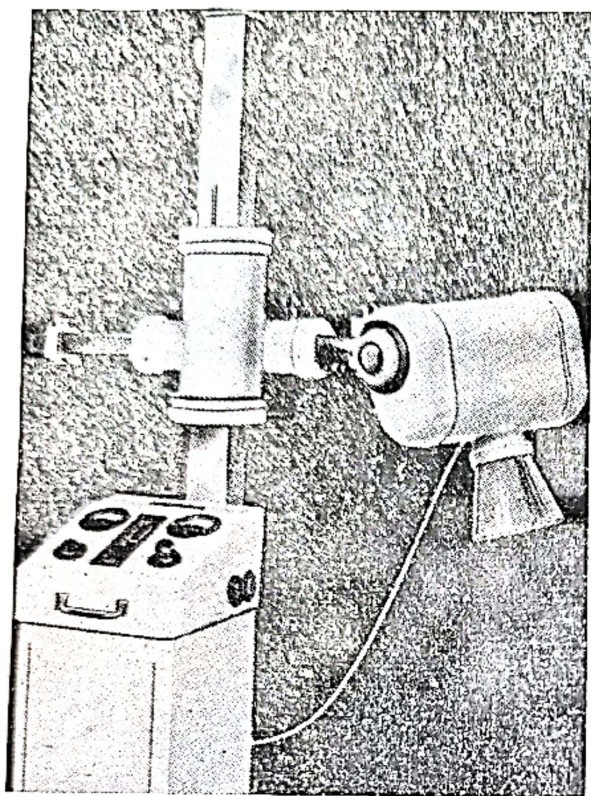


Fig. 558 — Aparat Röntgen pentru radiografie.

La efectuarea unei radiografii, filmul sau placa cu gelatinobromură de argint, pe care se formează imaginea fotografică, trebuie să se afle — ca la orice fotografie — la adăpost de lumina zilei, într-o casetă opacă (șasiu); filmul se așază astfel ca stratul sensibil să fie înspre subiect. Așezarea generală este deci următoarea: tubul Röntgen, bolnavul, stratul fotosensibil, sticla sau celuloidul filmului; aceasta, pentru cazul cînd se lucrează cu filme sau plăci fotografice sensibilizate pe o singură parte. În anumite cazuri se întrebuintează clișee cu emulsie fotosensibilă pe ambele părți.

După dezvoltare și fixare, se obțin negativele, iar după acestea se pot scoate pozitive, ca la orice fotografie.

La examinarea și interpretarea imaginilor radiografice, fie negative, fie pozitive, trebuie să avem

totdeauna în minte poziția subiectului la radiografie. Astfel, dacă radiografia este frontală și pacientul a stat cu fața spre clișeu, în stînga clișeului va fi mîna lui dreaptă. La pozitiv, dacă copierea a fost făcută astfel ca celuloidul sau sticla clișeului să fie aplicată pe hîrtia pozitivă, mîna dreaptă va veni din nou în dreapta fotografiei.

De obicei se examinează direct negativele radiografiilor. Pentru o examinare mai ușoară a negativelor, se utilizează *negatoscopul* (fig. 559). Acest aparat este format dintr-un cadru cu geam translucid (mat), înapoia căruia se află un bec electric; de geamul negatoscopului se rează negativul radiografic, așa că locurile transparente ale negativului devin luminoase și translucide, negativul putînd fi astfel examinat mai ușor.

Acțiunea fotochimică a razelor X asupra stratului sensibil de gelatinobromură de argint se poate amplifica aplicînd deasupra filmului un ecran întăritor, format dintr-un carton acoperit cu o substanță fluorescentă la razele X (wolfram de calciu sau de bariu). Efectul fluorescent este maxim dacă razele X excitatoare ale fluorescenței sînt produse de o tensiune echivalentă unei scînteii de 17 cm, deci care corespunde razelor K caracteristice wolframului. Ecranul trebuie aplicat cu substanța fluorescentă pe emulsia fotosensibilă a filmului. În timpul iradiației, ecranul

devine fluorescent și emulsia este impresionată, atât de razele X, cât și de fluorescența ecranului. Ca și la clișeul radiografic obișnuit, și în acest procedeu clișeul și ecranul fluorescent sînt închise într-o casetă avînd capacul de lemn spre bolnav; fundul ei este de plumb, pentru ca razele Röntgen, după ce au traversat corpul subiectului, să fie absorbite și să nu fie nocive pentru operator. La filmele care au pe ambele fețe straturi fotosensibile, se aplică două ecrane fluorescente, câte unul de fiecare parte. Această întărire a radiografiei cu ajutorul ecranului fluorescent este necesară pentru cazul cînd timpul de expunere este foarte scurt; avantajul metodei este însă micșorat de faptul că imaginea nu este prea precisă, fapt de care trebuie să se țină seama, mai ales la o radiografie a țesutului osos.

Timpul de expunere, pentru a obține o bună radiografie, depinde de mai mulți factori: în general, timpul de expunere este cu atât mai scurt cu cît efectul fotografic al razelor X, în unitatea de timp, este mai mare. Efectul fotografic este direct proporțional cu intensitatea curentului, cu pătratul diferenței de potențial de la bornele aparatului Röntgen și cu timpul de expunere, și este invers proporțional cu pătratul distanței dintre clișeu și anticatod. La aceste condiții se adaugă cele despre care am mai vorbit: astfel, ecranul fluorescent întăritor reduce timpul de expunere la o pătrime.

În aparatele cu anodul rotitor, radiografiile au timpul de expunere de o sutime de secundă, așa că se poate face practic radiografia instantanee a organelor în mișcare. În fig. 561 este redată radiografia unui plămîn sănătos, obținută cu un timp de expunere foarte scurt.

Radiografia stereoscopică. Imaginile radiografice fiind datorite suprapunerii unor umbre ale organelor așezate în planuri diferite, nu se poate aprecia relieful folosind o singură imagine negativă ori pozitivă, tot așa

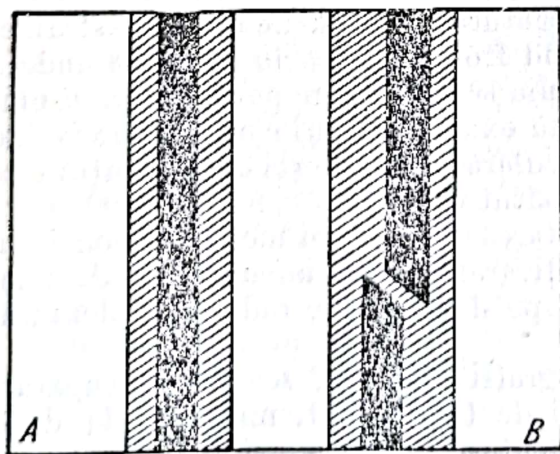


Fig. 560 — Fractura oblică se poate localiza mai bine făcînd radiografia din două direcții perpendiculare (schemă).

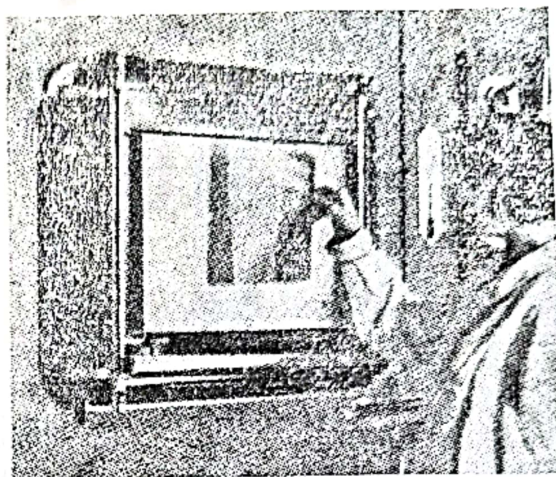


Fig. 559 — Negatoscop.

cum nu putem aprecia relieful, în lumina zilei, privind cu un singur ochi un peisaj natural sau privind o fotografie obișnuită. În radiografie, examenul în relief se obține, ca și în fotografie, prin metoda stereoscopică. Pentru a avea senzația de relief, se fac două clișee din două puncte situate în același plan, dar aflate la o distanță de 6 cm între ele, distanță care corespunde aproximativ aceleia dintre ochii unui observator adult. Cele două clișee radiografice astfel obținute se privesc simultan printr-un stereoscop, care dă — prin suprapunerea imaginilor — senzația de relief.

Stereoscopul radiologic este format din trei ecrane mobile, articulate pe o muchie verticală comună. Pe cele două ecrane exterioare se așază cele două clișee stereoscopice; ecranul median, care are pe partea dreaptă o oglindă, se așază vertical între ochi. Privind cu ambii ochi spre clișeul din stînga, ochiul stîng vede acest clișeu, dar ochiul drept vede, în oglinda mediană, imaginea clișeului din dreapta, care se suprapune astfel peste imaginea din stînga. Această suprapunere a celor două imagini radiografice dă observatorului senzația de relief. Imaginea stereoradiografică apare asemănătoare corpului radiografiat, considerat transparent pentru ochii

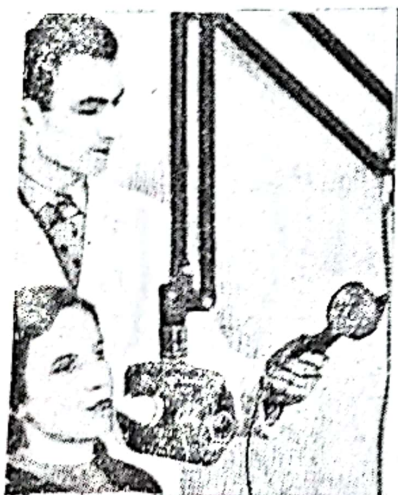


Fig. 561 — Radiografia unui plămîn sănătos.

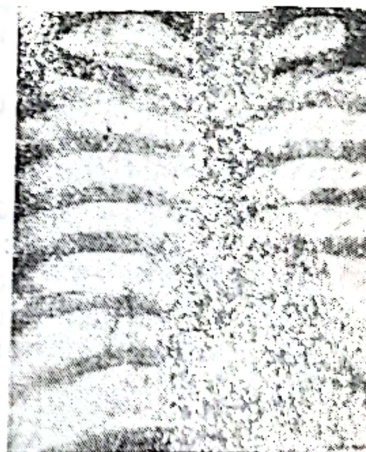


Fig. 562 — Aparat Pöntgen dentar (Chirana). J

noștri; la o examinare stereoscopică a coapsei, de exemplu, se vede femurul așezat în mijlocul părților moi, ca și cum acestea ar fi transparente, iar dacă există o fractură, se poate recunoaște poziția relativă a segmentelor.

În loc de stereoscopie, se folosește deseori examenul radiologic făcut din două direcții care formează între ele un unghi de 90° sau apropiat de această valoare. În cazul unei fracturi oblice, de exemplu a unui femur, radiografia frontală anterioară nu indică poziția relativă a fragmentelor; o încălecare sau o îndepărtare a lor este foarte posibilă, fiindcă umbrele se suprapun ca și cum fragmentele ar fi în contact. Făcîndu-se însă și radiografia în direcție perpendiculară (sagitală) față de prima radiografie, se obține un clișeu din care reiese poziția reciprocă a celor două fragmente de os (fig. 560).

Un exemplu sugestiv îl avem în legătură cu corpurile metalice străine, intrate accidental în corp: radiografiînd frontal un os în regiunea unde a pătruns un glonț de oțel, umbra acestuia se suprapune peste umbra osului și numai absorbția diferențială ne arată existența unui corp străin; făcînd încă o radiografie în direcție perpendiculară, se poate ști dacă glonțul este localizat în mușchi, în os, dacă a străbătut osul etc.

c) **Procedee specializate.** În dezvoltarea radiologiei medicale s-au individualizat procedee radioscopice și radiografice care au un cîmp de folosire specializat. Dintre acestea cităm, pe de o parte, radiologia dentară, pe de altă parte, tomografia.

Radiologia dentară. Pentru radiografii dentare, se fabrică aparate cu tub Röntgen de format mai mic și de tip special, mai mobile decît cele obișnuite (fig. 562). Radiografia dentară se face așezînd filmul radiografic înfășurat în hîrtie neagră, înapoia gingiei și lipit de dintele de examinat; iradierea se face frontal, cu un fascicul foarte îngust de raze Röntgen. Ecranul radiosopic a fost și el adaptat cerințelor stomatologice, din-

du-i-se forma și mărimea oglinzii stomatologice cu care se explorează de obicei partea posterioară a dinților. Acest minuscule ecran radiosopic fluorescent se introduce ușor în gura bolnavului. Ecranul dăd imagini luminoase, se poate examina imaginea radiosopică a dintelui și fără întunecarea completă a sălii de lucru. Substanța fluorescentă este protejată contra salivei prin acoperirea micului ecran cu un lac transparent, care permite și sterilizarea lui cu alcool după fiecare întrebuințare. Protecția operatorului contra razelor X se face cu o gardă opacă pentru aceste raze.

Tomografia este un procedeu prin care se obțin radiografiile anumitor planuri din corp, eliminând planurile care nu interesează. Imaginile din diferite planuri, paralele cu masa pe care se află bolnavul, se realizează pe principiul următor: tubul Röntgen este cuplat cu caseta, care conține filmul, printr-o pîrghie care le asigură o mișcare de translație în planuri paralele, însă în sens contrar. Într-un anumit plan din corp se va afla un punct, care va constitui axa de rotație a fasciculului de raze X. Pentru acest punct se va obține o imagine netă pe film, oricare ar fi poziția tubului și a filmului, fiindcă cele trei puncte: focarul anticatodului, punctul de rotație și punctul de pe film vor fi mereu în linie dreaptă. Pentru punctele aflate în alte planuri se vor obține, pentru fiecare poziție a tubului și a casetei, alte imagini, așa că pentru o anumită regiune, în locul unei imagini nete, vom avea pe film o suprapunere parțială de imagini, care vor da în ansamblu o imagine foarte difuză. Aparatul se poate pune la punct pentru diferite secțiuni, așa că se pot obține imagini stratificate. Se realizează astfel tomografii în serie. Se fac tomografii ale craniului, sternului, melcului urechii, coloanei vertebrale etc.

d) **Microradiografia.** În dezvoltarea celor două metode principale de diagnostic, s-a vădit că fiecare din ele prezintă avantaje mai mari sau mai mici față de cealaltă metodă.

Radioscopia este folosită pe scară foarte mare pentru cercetarea organelor în mișcare: mișcările stomacului, ale inimii, ale diafragmei. După ecranul radiosopic se pot lua schițe pe hîrtie și se pot face ortodiagrame. Radioscopia dă o imagine dinamică, ceea ce constituie marele ei avantaj. Radioscopia este utilizată și pentru studiu, de exemplu, la studiul anatomiei pe viu.

Pe de altă parte, radiografia prezintă și ea avantaje. Ochiul nostru, oricît ar fi de adaptat la întunericul din sala de radiologie, poate scăpa la radioscopie unele amănunte. Radiografia oferind imagini fixate pe clișeu, acestea rămîn și pot fi examinate ulterior. Radiografia se poate face din diferite poziții și putem obține — după cum am văzut — și imagini stereoscopice, tomografii etc.

Ambele metode se completează însă: astfel, de foarte multe ori, înainte de a face o radiografie, se explorează regiunea prin radioscopie.

În ultimii ani, aceste două metode de diagnostic s-au îmbinat și mai mult prin procedeul cunoscut sub numele de *microradiografie* (abreviat, mai puțin corect, *microradiografie*).

Radioscopia în serie, pentru examinarea periodică a muncitorilor, militarilor, studenților, elevilor, sportivilor, funcționarilor etc., fiind o cerință a medicinei preventive, iar pe de altă parte aducerea ei la îndeplinire prezentînd dificultatea că după fiecare radioscopie trebuie făcută o pauză, trebuie luminată sala pentru schițarea observațiilor de pe ecranul radiosopic și pentru intrarea subiectului următor, trebuie adaptată din nou, la întuneric, vederea radiologului etc., s-a imaginat procedeul microradiografic, care dă excelente rezultate. Acest procedeu constă din

următoarele operații: se fotografiază cu un aparat fotografic, cu filme de dimensiuni mici, ecranul fluorescent cu radiosopia subiectului aflat între tubul de raze X și ecran. Manipularea este ușoară și rapidă: ea se face pe lumină, deoarece între aparatul fotografic și ecranul radioscopic se află o cameră obscură în formă de trunchi de piramidă, a cărei bază mare este formată din ecranul fluorescent (fig. 563), iar baza mică o constituie aparatul fotografic.

Trecerea persoanelor se face repede. Fotografiile (negative) mici ale ecranului se păstrează în arhive, fișiere etc. și se pot studia ulterior, se pot proiecta cu aparate de proiecție, se pot examina mărite, se pot copia, mări fotografic etc.

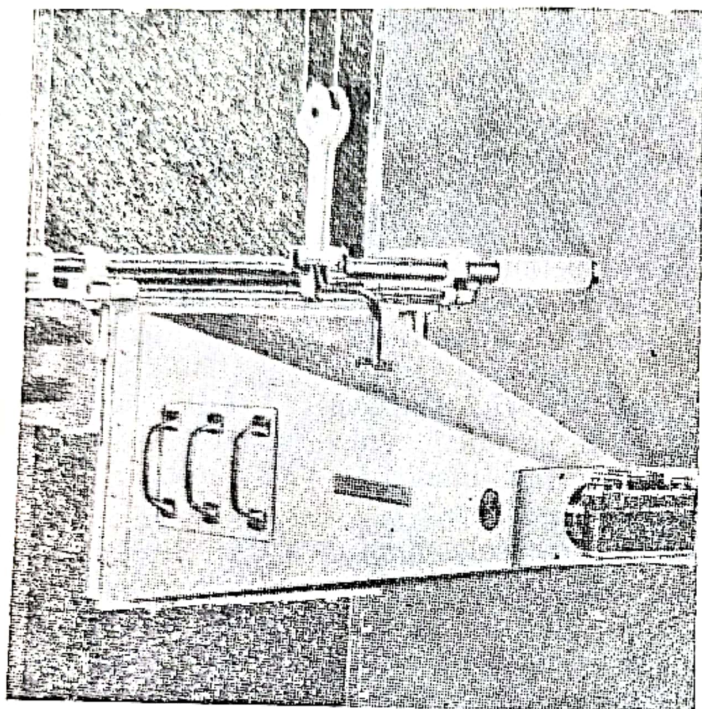


Fig. 563—Camera obscură și aparatul fotografic pentru fotografierea ecranului radioscopic (microradiografie).

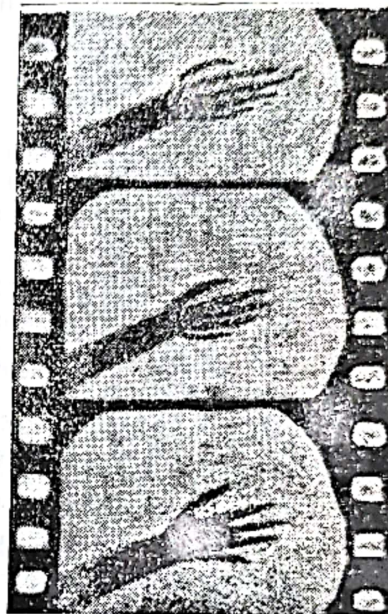


Fig. 564 — Film obținut prin cinematografierea ecranului radiologic.

Microradiografia a luat o mare extindere în medicina preventivă.

e) **Röntgenocinematografia.** Pentru cercetări din diferite domenii biologice și medicale, se practică fotografierea ecranului radioscopic cu ajutorul unui aparat de luat vederi cinematografice. Filmul, prelucrat la fel cu filmele cinematografice obișnuite, este apoi proiectat cu un aparat cinematic. În fig. 564 este redat un fragment de film cinematic care cuprinde radiografia diferitelor stadii de mișcare a mîinii.

2. RADIOTERAPIA

Încă din primii ani ai radiologiei, s-a observat că expunerea mai îndelungată a corpului omenesc la razele X provoacă leziuni grave: căderea părului, eritem, ulceratii etc. Această acțiune nocivă asupra țesuturilor a determinat pe cercetători să-și pună problema distrugerii țesuturilor bolnave cu ajutorul razelor Röntgen. Acțiunea biologică observată a dus la imaginarea unor aplicații terapeutice, care au cucerit repede un loc însemnat în medicină.

a) **Acțiunea biologică a razelor Röntgen.** Cercetări numeroase au dus la concluzia că razele X acționează cu mai multă intensitate asupra celulelor cu activitate reproductivă mai mare, adică cele care sînt mai depărtate de sfîrșitul diviziunii lor kariokinetice și care nu au deci funcțiile definitiv fixate.

De asemenea s-a stabilit că pentru razele moi, care au lungimea de undă mai mare de 1 Å, acțiunea biologică crește cu lungimea de undă. Pentru razele pătrunzătoare, efectul crește, în general, în raport invers cu lungimea de undă.

Asupra mecanismului acțiunii razelor X s-au emis diferite ipoteze. Rezultatele a numeroase experiențe au arătat că acțiunea distrugătoare a razelor X se exercită numai asupra celulelor direct iradiate; această acțiune directă atrage însă după sine modificări umorale, care pot avea o acțiune secundară asupra întregului organism.

Se admite, în general, că originea alterărilor celulare trebuie să se găsească în acțiunea de ionizare produsă de fotoelectronii smulși din atomi sub acțiunea radiațiilor incidente. Așa cum am arătat, acești fotoelectroni, emiși cu o viteză cu atît mai mare cu cît lungimea de undă incidentă este mai scurtă, provoacă, prin șocul lor, ionizarea moleculelor întîlnite în cale. Acești ioni, difuzînd, acționează prin sarcina lor electrică asupra diferitelor formațiuni din organism.

S-a stabilit de asemenea că există în celulă o zonă sensibilă, care, dacă este atinsă, celula moare; această moarte survine însă numai după ce zona sensibilă a primit un număr anumit de cuante de energie radiantă, cu atît mai mic cu cît lungimea de undă radiantă este mai mică.

În fine, cînd lungimea de undă este destul de mică, are loc efectul Compton, care dă naștere unor electroni de recul al căror traiect este foarte scurt, astfel că razele foarte dure au același efect cu razele foarte moi: la lungimi de undă foarte mici, acțiunea este minimă.

Acțiunea biologică a razelor X a fost studiată asupra multor organisme din scara animală și vegetală.

Cu ajutorul razelor X moi se obține în general o sterilizare a culturilor de microbi; bacilul tuberculozei prezintă însă o puternică rezistență la razele X.

Sensibilitatea microbilor patogeni la razele Röntgen este prea slabă față de cea a celulelor corpului omenesc pentru ca microbii să poată fi distruși *in vivo* fără a dăuna țesuturilor corpului.

b) **Aplicații medicale.** Radiosensibilitatea fiind o proprietate celulară, s-a stabilit că, în corpul omenesc, celulele cele mai radiosensibile aparțin țesutului hematopoetic din splină, ficat, măduva oaselor; în al doilea rînd vin celulele seminale, celulele generatoare ale epidermului, adică elemente care și-au păstrat însușirea de a se înmulți; în al treilea rînd vin celulele diferențiate mature: țesutul glandular, muscular, conjunctiv, nervos etc.

Dacă dintr-o cauză oarecare, cum este de exemplu o inflamație, un anumit țesut prezintă o mai mare proliferare a celulelor tinere, el își mărește în același timp și radiosensibilitatea.

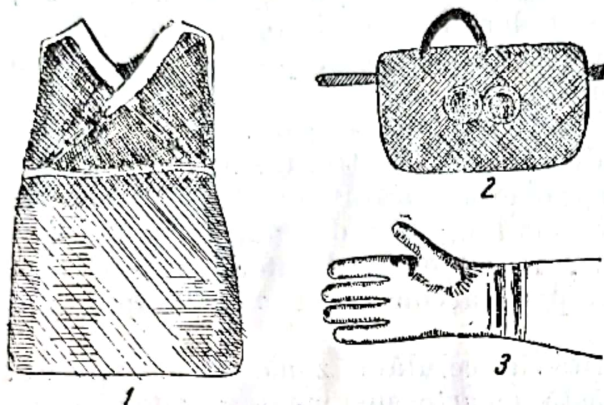
În radioterapie se utilizează efectul citolitic al razelor, adică capacitatea lor de a distruge, printr-o acțiune selectivă, anumite formațiuni patologice deosebit de radiosensibile (tumori); de asemenea se folosesc efectele modificatoare, care au drept scop de a modifica, prin puterea inhibantă sau rezolutivă a razelor X, stările inflamatorii sau anumite afecțiuni funcționale.

c) **Protecția muncii în radiologie** este unul din capitolele cele mai importante ale protecției muncii medicale. Numeroasele victime pe care

le-au făcut, la început, metodele de aplicare a radiologiei au dus la concretizarea unor metode și mijloace de apărare a sănătății celor care manipulează razele X.

Dintre substanțele comune care absorb mai ușor razele X, plumbul este cel mai întrebuițat în protecția muncii în radiologie. În formă de tablă, plumbul se întrebuițează foarte adesea pentru protejarea, atât a operatorului, cât și a bolnavului care urmează tratamentul radioterapic.

Aparatele de comandă și control sînt de obicei instalate într-o încăpere separată, unde sînt manipulate și de unde operatorul poate privi în camera de terapie radiologică printr-o fereastră din sticlă de plumb (cristal, flint, strass), care permite trecerea luminii, dar oprește razele Röntgen.



1 — șort; 2 — mască; 3 — mănușă; (toate avînd în compoziția lor săruri de plumb).

Fig. 565 — Protecția muncii în radiologie.

Într-o instalație de radioterapie profundă, unde se lucrează cu radiații foarte penetrante, operatorul este apărut de razele X, precum și de radiațiile secundare emise, atât de aparat cât și de corpul bolnavului, închizîndu-se într-o cabină căptușită peste tot cu tablă de plumb sau lucrînd într-o cameră vecină care are pereții, tavanul și podeaua căptușite cu tablă de plumb. Tabla de plumb groasă de 4—5 mm este un protector

puternic și poate fi prelucrată în toate modurile.

Pentru a se elimina dezavantajele plumbului metalic (bun conductor de electricitate), tehnica securității în instalațiile radiologice a imaginat dispozitive protectoare în care plumbul participă sub formă de sare, în amestec cu substanțe dielectrice cum sînt cauciucul, sticla, ebonita etc.

Din cauciuc plumbat, în care sarea de plumb se află răsîndită în stare aproape moleculară, se confecționează măști pentru obraz (fig. 565) pălării, șorturi, mănuși și chiar costume complete care apără corpul operatorului în același timp și contra efectelor vătămătoare ale razelor X și contra descărcărilor electrice care se produc adesea în instalațiile de înaltă tensiune. Cauciucul plumbat se întrebuițează și pentru apărarea regiunilor din corpul pacientului asupra cărora razele X nu trebuie să acționeze. Cauciucul plumbat trebuie folosit în plăci de trei ori mai groase decît tabla de plumb.

Ecranul fluorescent este acoperit în partea dinspre operator cu o sticlă groasă de plumb, pentru a opri radiațiile care străbat corpul subiectului. Tot din sticlă de plumb se fabrică și vizorii ochelarilor de protecție.

Instalațiile radiologice de mare putere au pereții sălilor de radiodiagnostic și radioterapie construiți dintr-un material format din ciment și sulfat de bariu, groși de 6—7 cm, ceea ce echivalează cu o căptușeală de tablă de plumb de 4—5 mm. Acești pereți pot fi tencuiți și zugrăviți.

Însuși aparatul de terapie este blindat cu o cupolă de plumb sau de cauciuc plumbat de grosimea necesară.

În radioterapie este posibilă o conducere a operațiilor dintr-o cabină de comandă separată. În radiodiagnostic, aceasta este imposibil, așa că

radiologul trebuie să se apere cu un paravan de cauciuc plumbat și cu haina confecționată din același material.

Operatorul nu trebuie să stea în fața antikatodului și nu trebuie să întrebuițeze părți din corpul său pentru experiențe, așa cum s-a făcut în primii ani ai radiologiei; radiologul nu trebuie să palpeze bolnavul sub raze.

VI. RADIOACTIVITATEA

A. SUBSTANȚE CU RADIOACTIVITATE NATURALĂ

În 1896, la un an după ce Röntgen a descoperit razele X, Henri Becquerel, care studiasă sărurile de uraniu din alte puncte de vedere, a constatat că un cristal din acestea, aflat într-un sertar peste o placă fotografică neimpresionată și învelită în hîrtie neagră, a impresionat placa foarte puternic, fără ca mai înainte cristalul să fi fost expus la soare, așa cum făcuse mai înainte cu unele cristale luminescente. Repetînd experiențele, Becquerel observă că intensitatea impresiilor pe placă era în funcție de durata contactului și de conținutul în uraniu al substanței întrebuițate.

Becquerel a descoperit astfel existența unei emisiuni spontane a uraniului. La fel cu razele X, noile radiații descoperite au proprietatea de a ioniza gazele și de a descărca un electroscoap încărcat.

Cercetări ulterioare au dus la concluzia că proprietatea atomilor anumitor substanțe de a emite spontan radiații, proprietate numită mai tîrziu „radioactivitate”, este însoțită de dezintegrarea elementului care radiază.

Descoperirea radioactivității uraniului de către Becquerel este unul din cele mai importante evenimente din istoria fizicii atomice.

În 1898, Marie Sklodovska-Curie (1867—1936) și Schmidt au descoperit, fiecare independent, radioactivitatea toriului.

Pierre Curie (1859 — 1906) și Marie Curie, studiînd minereurile care conțin uraniu și toriu, au observat că ele cuprind și corpuri mult mai radioactive decît însuși uraniul metalic. După o muncă uriașă, ei au reușit să separe din minereul numit pehlendă, în iulie 1898, *poloniul*, iar în decembrie 1898, *radiul*, care este de 2,5 milioane ori mai activ decît uraniul. În 1899, Debierne și Giesel au descoperit *actiniul*.

Aceste descoperiri și studierea radioactivității de către soții Curie au constituit începutul unui lung șir de cercetări asupra fenomenelor spontane de transmutație, numite la început transmutație atomică, iar după 15 ani, cînd a fost descoperit nucleul atomic, *transmutație nucleară*.

În afară de proprietatea de a ioniza gazele, substanțele radioactive impresionează placa fotografică și excită luminescența anumitor substanțe; ele prezintă fenomene energetice: în adevăr, temperatura unui preparat radioactiv este totdeauna mai ridicată decît cea a mediului ambiant.

Deviația într-un cîmp magnetic a acestor radiații a fost observată încă din 1899. Experiența clasică prin care se demonstrează această deviație decurge astfel: între cei doi poli ai unui magnet sau ai unui electromagnet foarte puternic se așază într-un recipient de plumb o cantitate mică de bromură de radiu. Sub acțiunea cîmpului magnetic, fasciculul de radiații emise de substanța radioactivă se împarte în trei radiații (fig. 566) care au fost numite raze α , β și γ .

1. RAZELE α

E. Rutherford a arătat, în 1902, natura acestor radiații emise de substanțele radioactive.

a) **Emisiunea α .** Razele α sînt deviate mai puțin (spre observator, în cazul fig. 566) și au sensul deviației particulelor încărcate pozitiv într-un câmp magnetic. Ele constituie partea care se absoarbe mai ușor din radiațiile radioactive; o foaie de hîrtie sau un strat de cîțiva cm de aer sînt suficiente pentru a le absorbi. Ele au o intensă acțiune fotografică.

b) **Sarcina electrică.** Razele α sînt constituite dintr-un flux de particule purtătoare a cîte două sarcini elementare pozitive; ele sînt deci nuclee de heliu. Viteza cu care sînt emise razele α variază între 14 000 și 25 000 km/s.

După Rutherford, numărul de particule α emise pe secundă de un gram de radiu este

$$Q = 3,7 \cdot 10^{10}.$$

Sarcina electrică a unei particule α se determină astfel: se determină exact un anumit unghi solid în care se numără particulele α ; același fascicul este apoi

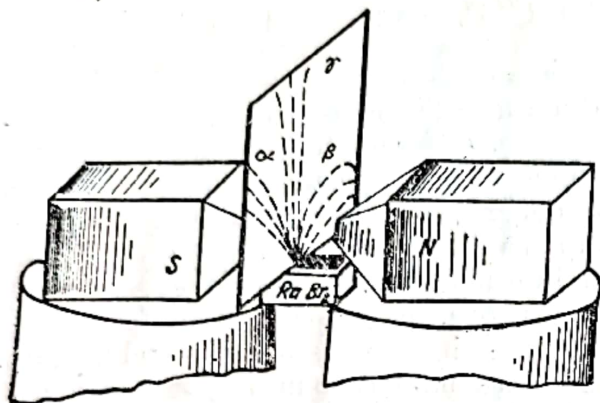


Fig. 566 — Fasciculul de radiații se împarte într-un câmp magnetic în radiații, α , β și γ .

primit într-un cilindru Faraday legat de un electrometru (izvorul și cilindrul sînt așezați în vid). Se găsește astfel că sarcina unei particule α este egală cu

$$9,58 \cdot 10^{-10} \text{ u.e.s.}$$

Pe de altă parte, Millikan a găsit că sarcina electrică a unui electron este de $4,774 \cdot 10^{-10}$ u.e.s. În limita erorilor experimentale, o particulă α are deci o sarcină dublă decît cea a electronului, ceea ce permite să se concludă că particula α este constituită dintr-un nucleu de heliu care are două sarcini pozitive.

În prezent, cifra adoptată pentru sarcina unui electron este de $4,803 \cdot 10^{-10}$ u.e.s. În fizica nucleară se utilizează ca unitate de energie, energia dobîndită de un electron între doi electrozi care se află la o diferență de potențial de 1 volt; această unitate este electronvoltul (eV). În unități energetice, electronvoltul are deci valoarea următoare:

$$E = Q \cdot V = 4,803 \cdot 10^{-10} \times \frac{1}{300} = 1,601 \cdot 10^{-12} \text{ ergi.}$$

Se utilizează de asemenea multiplul megaelectronvoltul (MeV), care valorează un milion de electronvolți.

c) **Parcursul mijlociu al particulelor α .** Diferitele acțiuni ale razelor α : ionizarea, licărirea, dispar brusc de îndată ce stratul de materie străbătut de ele atinge o anumită valoare critică, care se numește parcursul radiației α în mediul considerat. Astfel, în aerul atmosferic, la presiunea normală, particulele α emise de uraniu au parcursul maxim de 2,5 cm, cele emise de radiu 3,21 cm, de toriu C au 8,6 cm etc.

Pe acest parcurs, energia unei particule α poate suferi modificări diferite, datorite traversării diferitelor cîmpuri ale centrilor electrizați care constituie stratul material. Rezultatul acestor modificări provoacă fluc-

tuații în parcurs. Pe cale statistică, se poate prevedea că parcursul individual se repartizează în jurul unui parcurs mediu, după curba lui Gauss.

Măsurarea parcursului mediu se face prin metoda licăririlor pe un ecran de sulfură de zinc (la care ajung diferențial particulele cu cât depărtăm sursa de ecran), cu ajutorul camerei de ionizare descrisă anterior ori cu ajutorul camerei lui Wilson, care va fi descrisă mai departe.

Particulele α au o mare putere de ionizare, datorită mării lor energii cinetice. Comparind energia cinetică a unei particule α cu cea a unei molecule gazoase, se observă că particula α are o energie cinetică de $1,5 \cdot 10^{-5}$ ergi = 9,37 MeV, în timp ce energia cinetică medie a unei molecule de gaz la 0° este de $5,6 \cdot 10^{-14}$ ergi = 0,035 eV. Ionizarea unui atom prin ciocnirea cu o particulă încărcată absoarbe în mijlocie 60 eV. De aceea, în parcursul lor prin aer, particulele α ionizează un număr considerabil de molecule gazoase. Particulele α trec prin moleculele pe care le ionizează, fără a fi deviate, și numai în cazuri excepționale șocul produce o modificare bruscă a drumului: faptul se observă bine în fotografiile făcute în camera Wilson.

Ionizările efectuate micșorează energia cinetică a particulelor α și, în consecință, se micșorează pe parcurs numărul ciocnirilor cu nucleeele atomice; ele nu mai pot ioniza gazul sau să facă să scinteieze ecranul cu ZnS. Particulele α sînt oprite cu atît mai repede cu cît masa atomică a corpului traversat este mai mare. În loc de puterea de oprire pe care o are fiecare substanță față de aceste raze, se folosește noțiunea de *echivalentul de aer*, adică grosimea unui strat de aer avînd aceeași putere de oprire ca stratul de substanță care produce oprirea.

2. RAZELE β

a) **Masa și sarcina.** Razele β deviază într-un cîmp magnetic, în sens opus celui în care deviază razele α , și anume, această deviere se face în sensul devierii particulelor cu sarcină negativă ale radiațiilor catodice. Radiația β este deci formată dintr-un flux de electroni; acești electroni sînt emiși cu o viteză care variază între 60 000 și 285 000 km/s, deci pînă aproape de viteza luminii. Particulele emise de radiul C ating o viteză de 299 400 km/s. Această mare diversitate de viteze face ca, în cîmpul magnetic, fasciculul deviat să fie mult dispersat.

Masa de repaus a particulelor β a fost găsită că este egală cu $0,911 \cdot 10^{-27}$ g; ea este deci, ca și la razele catodice, de ordinul $1/1840$ din masa unui atom de hidrogen. Toate aceste caractere au arătat că razele β sînt constituite din electroni. Masa electronului, care am arătat că, în repaus, este de $1/1840$ din cea a atomului de hidrogen, crește cu viteza și devine foarte mare atunci cînd viteza se apropie de cea a luminii.

b) **Ionizarea gazelor.** În camera Wilson, spre deosebire de razele α , care dau urme groase și continue, razele β se prezintă sub forma unui șirag de mărgelile, distanțate între ele, aceasta din cauza micii puteri ionizante a razelor β de-a lungul parcursului în vaporii de apă din camera Wilson.

Ionizarea gazelor cu ajutorul razelor β este mai puțin intensă decît prin razele α . Plecînd de la viteza minimă, numărul ionilor produși crește cu viteza pînă la o viteză de 0,024 c (c fiind viteza luminii), cînd se produce 7700 ioni pe cm de traiectorie, apoi începe să descrească, astfel că razele β de foarte mare viteză sînt mai puțin ionizante decît cele de viteză mai mică. O particulă β cu viteza 0,9 c produce în aer, la presiunea atmos-

sferică, 55 perechi de ioni pe cm, adică circa 1/200 din numărul produs de razele α .

Puterea ionizantă mai mică a razelor β se explică prin faptul că, deși au o viteză foarte mare, ele au însă masa foarte mică, așa că energia lor cinetică este mică.

c) **Absorbția razelor β .** Pe măsură ce razele β străbat materia, intensitatea lor se micșorează progresiv. Din cauza vitezei lor mai mari, puterea de pătrundere a celei mai mari părți a razelor β este mult mai mare decât cea a razelor α . Astfel, o lamă de aluminiu de 0,16 mm grosime reduce la jumătate intensitatea inițială a radiației β a radiului E . Absorbția se poate reprezenta printr-o curbă exponențială, expresia ei matematică fiind

$$I_x = I_0 e^{-ax}$$

unde I_0 este intensitatea inițială, I_x = intensitatea după traversarea grosimii x , iar a este o constantă care depinde de coeficientul de absorbție și de densitatea mediului.

Coeficientul de absorbție al unei aceleiași radiații în diferite substanțe crește cu densitatea substanței, însă nu proporțional.

d) **Reflecția razelor β .** Aceste raze sînt reflectate de diferite substanțe. Astfel, proiectînd raze β emise de rîu asupra unor foi de aceeași grosime, din diferite substanțe, se obține o reflecție care poate fi redată de cifrele procentuale cuprinse în tabelul 53:

Tabelul 53

Substanța	Masa atomică	Reflecție %
Bi	209,0	70,9
Pb	207,2	70,2
Au	197,2	67,8
Ag	107,9	57,4
Cu	63,6	44,7
Al	27,1	30,0
C	12,0	17,1

Numărul particulelor reflectate crește cu grosimea foi care reflectă, ceea ce arată că reflexia nu are loc la suprafața foi, ci că razele β care pătrund în foaie sînt adesea atît de puternic deviate în traiectoria lor, încît această deviere, consecință a acțiunii forțelor electrice din atom, seamănă cu o reflexie. Creșterea numărului particulelor reflectate încetează cînd grosimea foi reflectante este suficientă pentru a absorbi complet

noile particule reflectate, în traiectul lor de înapoiere prin foaia de substanță care reflectă.

3. RAZELE γ

a) **Natura radiației γ .** Aceste raze formează componentele nedeviate de cîmpul magnetic sau de cel electric ale fasciculului de raze emise de corpurile radioactive. Radiația γ este formată din particule care nu poartă sarcini electrice. Structura lor este analogă celei a luminii și a razelor X ; de aceea, determinarea lungimii lor de undă se face după tehnici asemănătoare celor din radiologie. De obicei se exprimă aceste lungimi în angströmi ($1 \text{ \AA} = 0 \text{ zecime de milimicron}$) sau în unități X ($1 X = 0 \text{ miime de milimicron}$). Domeniul spectral al razelor γ se întinde de la cîteva unități X pînă la lungimile de undă ale razelor Röntgen moi. Datorită lungimilor de undă foarte mici, razele γ sînt foarte penetrante.

Aceste radiații însoțesc de obicei razele β și sînt considerate ca similare razelor X , fiindcă sînt emise de atomii substanțelor radioactive, excitați de electronii radiației β .

Lungimea de undă a razelor γ a fost determinată în 1914 de Rutherford și Andrade cu ajutorul relației lui Bragg, folosind drept rețea de difracție rețeaua spațială a unui cristal de calcit sau de sare gemă pentru care d era cunoscut prin studiul cristalografic făcut cu ajutorul razelor X.

b) Absorbția are loc ca și la razele Röntgen: cu cât razele sînt mai dure, adică au lungimea de undă mai mică, cu atît ele sînt mai pătrunzătoare. Astfel unii componenți ai radiației γ traversează pînă și o placă de plumb de 32 cm. În timp ce pentru razele β este suficientă o foită de aluminiu de 0,05 mm pentru a reduce la jumătate intensitatea radiației, pentru razele γ este necesară o foaie de plumb groasă de 1,5 cm.

Raportul dintre coeficientul de absorbție și densitatea substanței este aproximativ constant, atît pentru gaze, cît și pentru metale grele, deși densitățile lor sînt atît de diferite.

Pentru radiația γ a Ra C, tabelul 54 redă în primă aproximație legătura dintre coeficientul de absorbție μ și

coeficientul masic $\frac{\mu}{\rho}$ (unde ρ este densitatea mediului absorbant).

Coeficientul de absorbție se micșorează pe măsură ce componentele razelor γ devin mai dure printr-o filtrare convenabilă.

c) Ionizarea prin raze γ . Razele γ nu produc direct ionizarea; fenomenele rezultă în decursul unui proces secundar, în modul următor: electronii eliberați de efectul fotoelectric și de efectul Compton, în mișcarea lor, ionizează gazele. Aceasta se poate observa în camera Wilson, unde se vede că traiectoriile de ionizare sînt totdeauna asociate traiectoriilor β a căror origine este pe traiectul razelor γ .

Considerînd ca valoare a ionizării 100 pentru o placă de plumb în grosime de 0,3 mm, se arată în tabelul 55 ionizarea produsă de fasciculul emergent de raze γ ale radiului C după absorbția prin plăci de plumb de diferite grosimi.

Tabelul 55

Grosimea plăcii de plumb (cm)	Ionizarea produsă prin fasciculul emergent (%)
0,3	100
1	61,6
2	33,1
4	11,7
6	4,26
8	1,62
10	0,63
14	0,11
18	0,03

comparație sugestivă între cele trei feluri de radiații din tubul Röntgen și cele trei radiații în care se descompune, într-un cîmp magnetic, radiația unui corp radioactiv se poate face examinînd fig. 567: razele α sînt analoge razelor canal, razele β sînt analoge razelor catodice și razele γ razelor X.

d) Măsurarea razelor γ . În aplicațiile medicale, se măsoară radiațiile γ în unități röntgen (unități r). Radiația γ a unui mg de radium (Ra B și Ra C) furnizează 8,6 r pe oră la o distanță de 1 cm.

Tabelul 54

Mediul absorbant	μ	$\frac{\mu}{\rho}$
Hg	0,621	0,045
Pb	0,533	0,047
Al	0,126	0,047
H ₂ O	0,055	0,055

Razele γ ale Ra C în echilibru cu 1 g de Ra produc în total $11 \cdot 10^{14}$ perechi de ioni pe secundă, de-a lungul traiectoriei lor. Ionizarea obținută este puternic condiționată de împrejurările în care se lucrează. Astfel, un ecran metalic așezat lîngă izvorul de radiații poate absorbi mai curînd o radiație γ decît dacă este așezat mai aproape de camera de ionizare, căci altfel mulți din electronii produși prin acțiunea radiațiilor asupra ecranului nu intră în cameră și ionizarea este mai slabă. O

4. EXPLICAREA FENOMENELOR RADIOACTIVE

a) **Transmutațiile.** Explicarea fenomenelor radioactive a fost dată în 1900 de Rutherford și Soddy, care au elaborat o teorie a dezintegrării radioactive. Potrivit acestei teorii, toate fenomenele radioactive se pot explica prin faptul că nucleele elementelor radioactive suferă transmutații „spontane”, dând naștere altor nuclee atomice.

Transformările radioactive nu au nevoie de un agent excitator exterior; ele sînt caracterizate prin *perioade* (*timp de înjumătățire* a substanței prin radiație) care variază între miliarde de ani și milionimi de secundă.

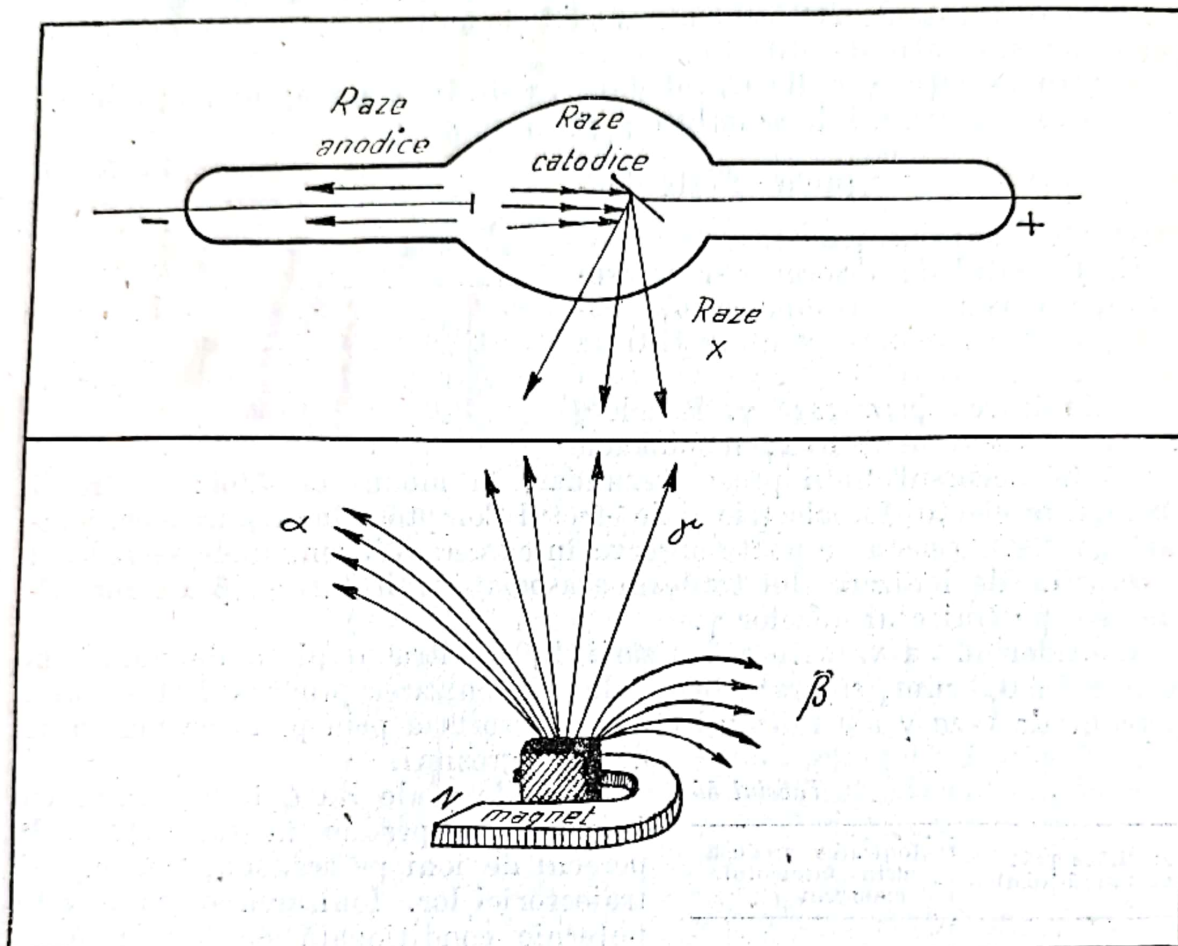


Fig. 567 — Comparație între radiațiile din tubul Röntgen și cele emise de radiu.

Chiar aceste din urmă perioade sînt foarte mari față de durata de viață a nucleelor intermediare din reacțiile nucleare provocate prin excitanți artificiali. Transformările (transmutațiile) radioactive sînt de două feluri: transformări α și transformări β , după cum ele sînt însoțite de emisiunea unei particule α sau β .

Radioactivitatea a fost descoperită la început la elementele grele: uraniu, radium, actiniu, toriu. Apoi au fost descoperiți și izotopi radioactivi care se găsesc în natură și care au mase atomice mici sau mijlocii, și anume izotopii radioactivi ai elementelor: potasiu K_{19}^{40} , rubidiu Rb_{37}^{87} , samariu Sm_{62}^{152} , lutețiu Lu_{71}^{176} , și reniu Re_{75}^{187} . Astăzi se prepară numeroși izotopi radioactivi artificiali.

În prezent se cunosc aproxim. 1000 de izotopi radioactivi, naturali și artificiali; numărul lor nu este limitat.

Cel mai tipic proces radioactiv este *transmutația* β , care poate fi caracterizată sub cea mai generală formă ca o transmutație la care sarcina nucleului se micșorează sau crește cu o unitate, dar numărul de masă nu se schimbă. Dacă nucleul emite de exemplu un electron negativ, adică dobîndește o sarcină electrică în plus, și deci numărul de electroni periferici crește cu unul, elementul considerat trece cu o căsuță mai departe în tabelul lui Mendeleev (legea lui Soddy).

Definiția generală dată cuprinde, atît procesele la care se emit, fie electroni obișnuiți negativi (proces β^-), fie electroni pozitivi (proces β^+), cit și procesele la care în general electronii nu sînt emiși, ci absorbiți de nucleu din propriul său înveliș electronic (captura K).

Procesele de *transmutație* α se întîlnesc mai rar printre izotopii radioactivi naturali sau artificiali. În acest caz, masa atomului scade cu 4 unități și sarcina nucleului său cu două unități elementare. Pentru a rămîne neutru, atomul trebuie să piardă doi electroni sateliți. Numărul său atomic este deci mai mic cu doi, adică elementul trece înapoi, în clasificarea lui Mendeleev, cu două căsuțe. După caracterul lor, transmutațiile α ocupă o poziție intermediară între procesele tipice de radioactivitate β și procesele mai profunde de fisiune sau sfărîmarea a nucleului.

Dezintegrarea radioactivă a izotopilor artificiali se mărginește, în majoritatea cazurilor, la transformarea nucleului în altul stabil. Numai izotopii radioactivi obținuți prin fisiune, izotopi care se disting printr-o abateră puternică a raportului dintre numărul de protoni și cel de neutroni de la valoarea lui de echilibru, dau lanțuri lungi de nuclee care se transformă succesiv unul în altul. Izotopii radioactivi naturali grei (uraniu, toriu) dau de asemenea naștere unor lanțuri de dezintegrare, formînd familii radioactive.

b) **Legea elementară a dezintegrării radioactive.** Pentru expunerea acestei legi ne vom servi de exemplul intuitiv și interesant din punct de vedere istoric, al transmutației radiului Ra^{226}_{88} .

Dacă închidem într-o fiolă de sticlă 1,318 g RaCl_2 clorură de radium, care conține exact un gram de radium element și lipim fiola la flacără, după cîteva zile, microanaliza atmosferei din fiolă arată că în ea au apărut gaze noi, și anume: heliu și radon. Pe cînd cantitatea de heliu crește proporțional cu timpul, adunîndu-se în timp de un an 167 mm³, cantitatea de radon crește pînă la o limită bine determinată, la 30 de zile fiind de 0,607 mm³; această cantitate rămîne constantă așa că, după un an, mai găsim în fiolă aceeași cantitate de 0,607 mm³ radon în prezența clorurii de radium.

Dacă însă separăm radonul de radium, cantitatea de radon scade destul de repede cu timpul, și anume după patru zile la jumătate, după opt zile la un sfert și după 30 de zile dispare practic complet.

Descreșterea în timp a radonului se supune legii exponențiale

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

unde N este numărul nucleelor încă nedezintegrate după timpul t ; N_0 este numărul nucleelor în momentul $t = 0$, iar λ este o constantă care caracterizează viteza de dezintegrare și care se numește *constantă radioactivă*.

Formula (1) exprimă legea fundamentală de dezintegrare radioactivă a unei substanțe radioactive izolate.

Numeroase experiențe efectuate, atât cu radonul, cât și cu alte substanțe radioactive au arătat că variațiile obișnuite ale condițiilor externe (încălzire puternică, presiune foarte mare, câmp magnetic puternic) nu exercită nici o influență asupra vitezei transformării radioactive. Formula (1) este legea statistică a dezintegrării spontane a nucleului.

Cunoscând constanta radioactivă λ , se poate calcula pentru un atom radioactiv durata medie de viață τ , care este inversul lui λ :

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

De aceea, formula (1) se poate scrie sub forma

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

În practică este mai ușor să se caracterizeze viața unei substanțe prin timpul ei de înjumătățire T (denumit deseori perioada radioactivă), adică prin intervalul de timp în cursul căruia se dezintegrează jumătate din numărul atomilor substanței radioactive date. Perioada T se calculează pentru fiecare substanță radioactivă, pornind de la expresia (1).

Făcând pe $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$, obținem pentru T următoarea valoare

$$T = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Timpurile de înjumătățire a diferitelor substanțe radioactive naturale diferă foarte mult între ele, așa cum se vede din tabelul 56.

Tabelul 56

Substanța	Simbolul izotopului	Timpul de înjumătățire (perioada radioactivă) T
Samariu	Sm_{62}^{152}	$2,5 \cdot 10^{11}$ ani
Uranu	U_{92}^{238}	$4,5 \cdot 10^9$ ani
Radiu	Ra_{88}^{228}	1 622 ani
Radon	Rn_{86}^{222}	3,82 zile
Carbon	C_6^{11}	20,4 minute
Radiu C'	Ra_{84}^{214}	$1,5 \cdot 10^{-4}$ sec
Toriu C'	Th_{84}^{212}	$3 \cdot 10^7$ sec
Sodiu	Na_{11}^{24}	14,8 ore
Fosfor	P_{15}^{32}	14,3 ani
Calciu	Ca_{20}^{45}	152 zile

c) *Unități de radioactivitate.* Până la descoperirea radioactivității artificiale, s-a folosit pentru măsurarea cantităților de substanță radioactivă o unitate numită „curie“ (în cinstea soților Curie, descoperitori ai radiului). Această unitate se definește în modul următor: o unitate curie (c) de radon este egală cu cantitatea de radon care se află în echilibru cu un gram de

radu (adică are aceeași radioactivitate). Această cantitate de radon are masa de $6,51 \cdot 10^{-6}$ g și ocupă un volum de $0,66 \text{ mm}^3$ la 0° și 760 torri.

Măsurătorile precise, făcute cu ajutorul contorilor de particule, au arătat că un gram de radu emite pe secundă $3,7 \cdot 10^{10}$ particule α , ceea ce arată că, într-o secundă, se dezintegrează același număr $3,7 \cdot 10^{10}$ atomi de radu. Unitatea curie fiind mare, se utilizează adesea unitățile derivate: o milicurie (10^{-3} curie) sau o microcurie (10^{-6} curie). Conținutul în radon al apelor radioactive se măsoară în milimicrocurii (10^{-9} c). Etalonul internațional se păstrează la Biroul internațional de măsuri și greutate din Sèvres, lângă Paris, și constă din radon în echilibru cu 21,99 mg RaCl_2 ; etaloane secundare se găsesc în toată țările.

În 1930, Comisia internațională pentru etaloanele de radu a recomandat utilizarea acestei unități și pentru alți membri ai familiei radiului care emit raze α . În acest caz se înțelege prin 1 curie cantitatea de substanță radioactivă care emite pe secundă același număr de particule α ca și un gram de radu, adică $3,7 \cdot 10^{10}$ particule α pe secundă.

Recomandată pentru radu, radon, poloniu și pentru ceilalți membri ai familiei radiului, unitatea curie prezintă însă o serie de dezavantaje pentru substanțele radioactive artificiale, din cauza că majoritatea nucleelor radioactive artificiale sînt emițătoare de radiații β , iar unele nu emit nici particule α , nici β (captura K). De aceea s-a adoptat și se utilizează în prezent o altă unitate radioactivă, numită „rutherford” (rd), corespunzătoare la 1 milion de particule α emise pe secundă.

Unitatea rutherford (rd) este deci:

1 rd = 10^6 dezintegrări pe secundă sau:

1 rd = $1/37 \text{ mc}$ = 27 μc Ra, Rn, Po etc.

1 mc = 37 rd.

Se folosesc de asemenea multipli și submultipli rutherfordului:

1 megarutherford (Mrd) = 10^6 rd;

1 kilorutherford = 10^3 rd;

1 milirutherford = 10^{-3} rd;

1 microrutherford (μrd) = 10^{-6} rd.

Avantajul mare al acestei unități constă îndeosebi în faptul că pentru majoritatea lucrărilor cu izotopi radioactivi nu este necesară folosirea unităților derivate. Astfel, doza terapeutică a izotopului de fosfor P_{32} este de ordinul a 100 rd; dozele obișnuite ale indicatorilor radioactivi, folosiți în chimie, biologie și tehnică, merg de la 0,1 pînă la 10 rd; sursele cele mai slabe care pot fi măsurate cu ajutorul contorului Geiger-Müller sînt de ordinul a 1 μrd .

5. FAMILII RADIOACTIVE

Substanțele radioactive, care prin transformările lor ajung la un anumit element radioactiv, și toate cele care descind din ele, formează o familie radioactivă.

Pînă de curînd, erau cunoscute trei asemenea familii. Elementele cu viață lungă: uraniu, toriu și actiniu sînt substanțele generatoare primare ale acestor trei familii. Membrii următori ai familiilor rezultă din cei anteriori prin transmutații α ori prin transmutații β .

Particula α fiind un nucleu de heliu cu sarcina $+2e$ și numărul de masă 4, urmează că transmutația α are ca rezultat scăderea sarcinii nucleului cu două unități și a numărului de masă cu patru.

Particula β fiind un electron, prin transmutația β numărul de masă nu variază sensibil, iar sarcina nucleului crește cu o unitate. Această regulă simplă, numită și *legea de deplasare a lui Soddy*, permite situarea substanței radioactive în sistemul periodic, plecând de la poziția capului de serie.

a) **Familia uraniului**, din care face parte și radiul, începe cu izotopul uraniului U_{92}^{238} . Prin transmutații α și β ia naștere din el izotopul U_{92}^{234} (notat mai înainte cu U II), iar acesta se transformă în radiu. Primele produse de dezintegrare care urmează după radiu, și anume ale radonului, sînt RaA, RaB, RaC etc., apoi vine poloniul. Produsul stabil final al seriei uraniului este RaG, un izotop al plumbului, cu numărul de masă 206.

b) **Familia toriului**. Capul de serie al familiei toriului este toriul Th_{90}^{232} ; după diferite transmutații analoge celor din familia uraniului, seria se încheie de asemenea cu un izotop al plumbului ThD , cu numărul de masă 208.

c) **Familia actiniului**, care își datorește numele elementului radioactiv actiniu Ac_{89}^{227} , are drept cap de serie izotopul uraniului U_{92}^{235} , care se află în uraniul natural în proporție de 0,7%. Acest izotop a dobîndit în ultimii ani o importanță extrem de mare în legătură cu utilizarea energiei nucleare; din el ia naștere uraniul Y, apoi protoactiniul, actiniul și radioactiniul $RdAc$, paralel cu actiniul K. Substanța finală a seriei actiniului este izotopul stabil al plumbului AcD , cu numărul de masă 207.

d) **Familia neptuniului**. Existența unei a patra familii radioactive, numită azi familia neptuniului, a fost stabilită de Irène Joliot-Curie, Halban și Preiswerk în 1935; datele complete asupra izotopilor care constituie această nouă familie radioactivă au fost publicate în 1947. Capul de serie este U_{92}^{233} , studiat în anii 1941—1942; el se transformă în izotopul toriului Th_{90}^{229} . Seria se încheie, după alte transformări, cu izotopul stabil al bismutului Bi_{83}^{209} . După obținerea elementelor transuraniene, care nu există în natură, se constată că se pot considera cap de serie plutoniul Pu_{94}^{241} , americiul Am_{95}^{241} și alte elemente transuraniene. Seria a primit totuși numele elementului transuranian neptuniu Np_{93}^{237} , care are perioada cea mai lungă din această familie.

6. ACȚIUNEA BIOLOGICĂ A RADIAȚIILOR RADIOACTIVE

a) **Razele α** prezintă o acțiune distrugătoare intensă asupra microbilor și o acțiune inhibitoare asupra anumitor fermenți. La animalele superioare, ele produc leziuni ale singelui și organelor hematopoetice, și se manifestă prin ușoară polinucleoză și poliglobulie, pentru doze foarte mici; leucocitoză tranzitorie urmată de leucopenie fără modificări ale numărului de eritrocite pentru doze mijlocii; leucopenie extremă, urmată de moarte prin diateză hemoragică pentru doze foarte mari.

Substanțele radioactive din familia toriului par a avea puterea distructivă cea mai intensă asupra leucocitelor. Se observă, de altfel, o micșorare a numărului de celule în splină și formațiunile limfoide și leziuni ale organelor hematopoetice. Epiteliul renal și zona reticulară a capsulelor suprarenale prezintă de asemenea alterări degenerative.

Studiul acțiunii poloniului asupra diferitelor țesuturi arată că celulele organismului prezintă grade foarte variabile de sensibilitate pentru razele α .

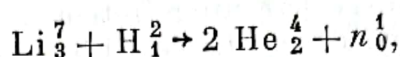
Celulele cele mai sensibile sînt cele din seria roșie și albă a singelui, precum și celulele seminale, apoi celulele stratului reticular al corticosuprarenalei și celulele reticulo-histiocitare, renale și hepatice. Celulele cel mai ușor distruse de razele α sînt cele mai fragile față de razele X.

b) Razele β produc leziuni care nu depășesc o zonă de 10 mm, caracterizate printr-o necroză difuză a tuturor elementelor atinse de aceste raze.

c) Razele γ , avînd caractere similare razelor X, dar avînd lungime de undă mai mică, sînt mai pătrunzătoare; ele au și efecte asemănătoare. Se observă însă un efect selectiv mai accentuat datorită unei repartiții mai omogene a radiației în profunzime.

d) Neutronii. Ca și razele X și razele γ , neutronii au proprietatea de a pătrunde profund în țesuturi, unde produc efecte caracteristice.

Fie că sînt produși cu ajutorul ciclotronului bombardînd o țintă de litiu, după schema următoare



fie că sînt eliberați din pila atomică, unde sînt produși în cantități uriașe, neutronii sînt caracterizați de absența sarcinii electrice, ceea ce le permite să se apropie de nucleele atomilor pe care îi întilnesc, fără a fi frînați de bariera de potențial.

Absorbția neutronului este diferită de cea a razelor X. În adevăr, în timp ce plumbul absoarbe foarte puțin neutronii, apa și în general toate corpurile bogate în hidrogen, ca parafina de exemplu, opresc neutronii destul de ușor, servind astfel drept ecran. Neutronii dezorganizează și distrug materia vie pe altă cale decît razele X. Pentru a obține aceleași efecte este nevoie de o doză de două-cinci ori mai mică de neutroni decît de raze X.

Spre deosebire de razele X și γ , neutronii sînt mai mult absorbiți de țesutul muscular și mai puțin de oase. Iradierea cu neutroni avînd efect numai asupra regiunilor care îi absorb, neutronoterapia poate fi mai convenabilă în anumite cazuri. Absorbția de neutroni în organism este cu atît mai mare cu cît sînt prezente mai multe nuclee care conțin hidrogen.

Acțiunea biologică a neutronilor se datorește protonilor scoși de aceștia din atomi. Protonii scoși de neutroni se deplasează prin țesuturi; sarcina electrică a protonilor face ca aceștia să rămînă pe țesut, cedînd energia lor electronilor din atomi și ionizînd astfel atomii. Apariția în țesuturi a particulelor încărcate cu electricitate duce la o acțiune fiziologică locală și reflexă prin sistemul nervos central, mecanism care se aseamănă cu acțiunea razelor X. Deosebirea se datorește sensibilității diferite a țesuturilor și organelor față de aceste radiații.

Din punct de vedere fizic, fenomenul diferențial se datorește unei penetrabilități mai mici a razelor X prin țesuturi și organe, care conțin elemente cu număr atomic mare și unei penetrabilități mai mici a neutronilor prin substanțe care conțin elemente ușoare.

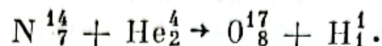
Neutronii cu energie mare străbat straturi groase de țesut, care conțin elemente mai grele, fără să fie modificați. În corpuri care conțin elemente ușoare, neutronii se ciocnesc cu atomii și sînt absorbiți de aceste corpuri.

Neutronii cu viteză mică, numiți și neutroni termici, nu sînt absorbiți de corpurile cu greutate atomică mare. Ei sînt absorbiți de elemente cu greutate atomică mică. Apa îi absoarbe chiar cînd stratul are numai 2 mm grosime.

B. RADIOACTIVITATEA ARTIFICIALĂ

1. REACȚIILE NUCLEARE

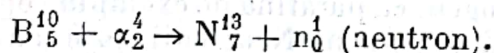
Rutherford a arătat în 1919 că, bombardînd azotul cu particule α rezultate din dezintegrarea unor substanțe radioactive naturale, se realizează transmutarea atomului, adică transformarea azotului într-un izotop al oxigenului.



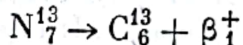
În această reacție nucleară s-au obținut protoni rapizi.

Un pas important în materie de explorare a nucleului a fost făcut de D. D. Ivanenko, care a emis în 1932 ipoteza că nucleul atomului este alcătuit din protoni și neutroni; acestor particule li s-a dat numele comun de nucleoni. Chadwick a confirmat experimental ipoteza lui Ivanenko. Neutronii au aproximativ aceeași masă ca și protonii, fără a avea sarcină electrică. Numărul total al protonilor și electronilor dintr-un nucleu atomic se numește numărul de masă. Numărul de ordine este numărul protonilor, și deci și al electronilor din jurul nucleului (așa cum s-a arătat mai înainte).

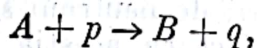
În 1934, soții Frederic Joliot și Irène Curie, bombardînd borul cu particule α , au descoperit că acesta emite protoni și neutroni. De asemenea erau emiși pozitroni, nu numai în timpul iradierii borului, ci și după aceasta, timp de câteva zeci de minute. Cercetările amănunțite au arătat că prin bombardarea nucleelor de bor cu particule α se formează izotopul radioactiv al azotului N^{13}_7 după reacția următoare:



Izotopul de azot astfel obținut emite spontan pozitroni, transformîndu-se în izotopul greu, stabil, al carbonului



Procese de acest tip se numesc reacții nucleare. În urma bombardării nucleului țintă cu o particulă rapidă, iau naștere un nou nucleu (nucleul produs) și o altă particulă. În mod schematic reacțiile nucleare pot fi deci reprezentate astfel

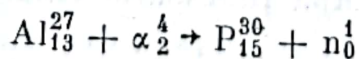


unde A este nucleul, p este particula accelerată (proton, neutron, deuton sau foton), B este nucleul care a luat naștere, iar q poate fi un proton, neutron, particulă α , electron, foton.

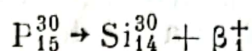
În reacțiile nucleare, suma indicilor superiori rămîne constantă (ceea ce exprimă legea conservării masei); de asemenea rămîne constantă suma indicilor inferiori (ceea ce exprimă legea conservării sarcinii); masa electronilor și a fotonilor se consideră neglijabilă față de unitatea relativă de masă atomică, așa că nu au indice superior.

Descoperirea elementelor radioactive artificiale reprezintă una din cele mai importante etape în dezvoltarea științelor naturii și are consecințe uriașe asupra întregii științe și tehnici.

Elementele radioactive artificiale (izotopii radioactivi) au fost obținute la început prin iradierea cu particule α a elementelor chimice obișnuite. Astfel iradierea aluminiului cu particule α a dus la formarea fosforului radioactiv și emisiune de neutroni



care în urma dezintegrării pozitronice formează izotopul stabil al siliciului



Cercetările și studiile de fizică nucleară și dezvoltarea amplă a tehnicii nucleare au făcut să fie cunoscuți pînă în prezent peste 800 de izotopi radioactivi artificiali din numărul total de aproximativ 1 000 de izotopi cunoscuți ai celor 101 elemente chimice pe care le cunoaștem pînă acum.

Fizicianul Enrico Fermi a fost primul care nu a folosit drept proiectile nucleare particule α (provenite din dezintegrarea atomilor radioactivi naturali), ci neutroni (obținuți artificial). Neutronii, neavînd sarcină electrică, pătrund mai ușor în nucleu și pot provoca astfel mai ușor reacții nucleare.

Bombardarea elementelor chimice cu neutroni a dus la rezultate de mare importanță.

a) **Fisiunea nucleară.** Nucleul unui element greu, cum este de exemplu uraniul, poate fi rupt în două părți aproximativ egale; fenomenul a fost descoperit în ianuarie 1939 de Joliot Curie, Fermi și Hahn, și a căpătat numele de fisiune nucleară. Cu prilejul fisiunii nucleelor de uraniu, se degajează o cantitate mare de energie, iar neutronii care se eliberează produc și ei la rîndul lor fisiunea altor nuclee, așa că se desfășoară o reacție în lanț; toate aceste reacții făcîndu-se aproape concomitent, se eliberează o cantitate enormă de energie într-un timp foarte scurt. Pe aceasta se bazează puterea de distrugere a bombei atomice.

Reacția în lanț a deschis însă calea spre obținerea celui mai nou și mai puternic izvor de energie, *energia atomică*.

b) **Reactorul nuclear.** Energia atomică poate fi folosită în scopuri pașnice, cu ajutorul reactorilor nucleari. În acest scop, reacțiile în lanț trebuie încetinite, folosindu-se un moderator. Drept moderator poate fi folosit orice element ușor, dar care să capteze cît mai puțini neutroni.

S-a demonstrat că cea mai mare pierdere (cedare) de energie o suferă neutronul în ciocnirile lui cu protonii. La aceste ciocniri există însă probabilitatea capturării neutronului cu formare de deutoni. De aceea, hidrogenul nu este indicat ca moderator.

Nucleul următor este deuteriul cu numărul de masă 2. Deuteriul poate capta puțini neutroni (are o secțiune de captură foarte mică), de aceea este un moderator bun. Deuteriul se folosește sub formă de apă grea D_2O .

Un dispozitiv format din uraniu și un moderator se numește reactor nuclear, pilă nucleară sau pilă atomică. Dacă pila nucleară are dimensiuni foarte mici, suprafața exterioară corespunzătoare unității de volum este mare; numărul neutronilor care părăsesc pila va fi procentual atît de mare, încît reacția în lanț nu se mai poate dezvolta. Dimensiunile pilei crescînd, numărul procentual al neutronilor pierduți prin ieșirea din pilă scade. Pentru anumite dimensiuni ale pilei, numite dimensiuni critice, numărul neutronilor care părăsesc pila este compensat de numărul neutronilor care apar în ea datorită reacției de fisiune; se ajunge astfel la un regim staționar de funcționare. Regimul staționar nu depinde de numărul neutronilor, ci de faptul că, prin compensarea menționată, numărul neutronilor rămîne constant.

Calcululele arată că dimensiunile critice ale unei pile nucleare de formă cubică sînt date de relația

$$D = \frac{L}{\sqrt{k-1}},$$

unde D este dimensiunea laturii pilei, L este lungimea medie a drumului parcurs de neutroni în mediul multiplicator, din momentul apariției lui în procesul de fisiune pînă la captura lui de către un nucleu oarecare, și k este coeficientul de multiplicare.

În locul moderatorului de apă grea, care se obține cu dificultăți și cheltuieli mari, se folosește în pila atomică drept moderator alt element ușor: carbonul sub formă de grafit.

Partea centrală a unei pile atomice constă de obicei din bare de uraniu înconjurată din toate părțile cu grafit (fig. 568).

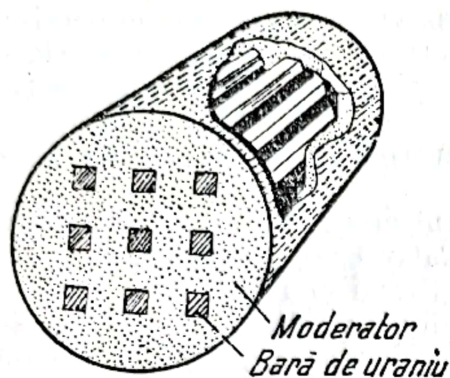


Fig. 568 — Bare de uraniu în moderator de grafit într-o pilă atomică.

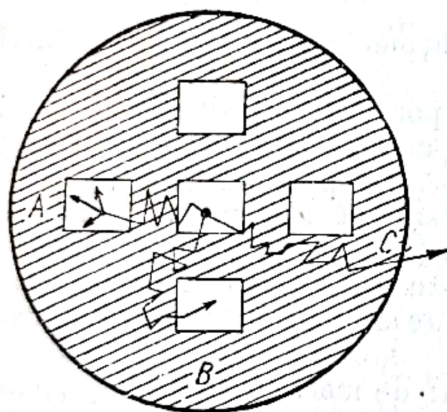


Fig. 569 — Schema drumului neutronilor A, B, C proveniți din fisiunea nucleului de U^{235} .

Uraniul este protejat de impurificări și de oxidări printr-un înveliș de aluminiu. Neutronii rapizi care apar la fisiunea nucleelor de uraniu 235 ajung la moderator, pierd, prin ciocnirea cu nucleele acestuia, aproape întreaga lor energie și trec cu viteză mică printre unul din blocurile de uraniu. În fig. 569 se arată schematic cum trei neutroni care apar la fisiunea unui nucleu de uraniu 235 ieșind în moderator, fiecare se ciocnește elastic de cîteva ori cu nucleele atomilor moderatorului, pierzînd prin aceste ciocniri energia sa. Neutronul încetinit A pătrunde în blocul de uraniu și provoacă fisiunea unui nou nucleu de uraniu 235. Un alt neutron B este absorbit de uraniul 238 și duce la apariția unui nucleu de plutoniu, iar al treilea neutron C părăsește pila.

Pentru dirijarea reacției în lanț se introduc în interiorul pilei un număr de bare de cadmiu sau de oțel cu bor, materiale foarte absorbante de neutroni. Aceste bare introduse în pilă absorb neutronii, adică micșorează coeficientul de multiplicare și frînează astfel procesul nuclear. Prin scoaterea teptată a barelor de cadmiu sau de oțel cu bor, se determină condițiile de declanșare a procesului de fisiune în lanț.

Pentru o anumită poziție a barelor, dispozitivele de control, care se găsesc în interiorul pilei și care măsoară cantitatea de neutroni formați, indică un început de reacție în lanț. Modificînd poziția barelor de cadmiu în pilă se poate accelera sau încetini reacția.

Pila atomică este înconjurată de un înveliș reflector și de un perete de protecție care are rolul de a absorbi neutronii și radiațiile care ies din sistem; aceste dispozitive protejează personalul și aparatura de radiațiile nocive. În general, învelișul de protecție este gros de cîteva metri și se construiește din beton, cadmiu, oțel cu bor, plumb. Stratul de beton încetinește neutronii și absoarbe o parte din ei; cadmiul și borul absorb restul de neutroni lînți, iar plumbul absoarbe razele γ . Dacă puterea pilei nu este mare, învelișul poate fi construit numai din beton.

Fisiunea nucleelor de uraniu dă naștere unei cantități mari de energie atomică. Căldura dezvoltată de acest proces este preluată de o substanță

răcitoare, gazoasă sau lichidă, care circulă prin grafit. Substanța circulantă se încălzește, trece printr-un schimbător de căldură, unde cedează căldura, se răcește și poate fi recirculată pentru răcirea mai departe a pilei atomice. Căldura cedată schimbătorului este utilizată, fie direct pentru acționarea unor motoare termice, fie indirect, pentru punerea în mișcare a unor turbine care, acționind generatori electrici, produc energie electrică.

La depășirea puterii limite a pilei, bara de cadmiu se lasă automat în jos, oprind procesul nuclear în lanț.

Primul reactor nuclear a fost conceput în 1939 de F. Joliot Curie, Halban și Kovarski și a fost realizat la Chicago. El este format din straturi de uraniu și de grafit așezate unul peste altul.

În fig. 570 este redată construcția unei pile atomice, construită în 1948, în Franța, sub conducerea lui Frederic Joliot Curie. În centrul pilei se află rezervorul cu apă grea în care sînt introduse barele de uraniu. Deasupra rezervorului se află o bară de siguranță de cadmiu, destinată a opri repede pila atomică. În dreapta, o altă bară de cadmiu servește pentru modificarea vitezei reacției în lanț din pilă. Uraniul și rezervorul de apă grea sînt înconjurate din toate părțile de un strat gros de grafit care reflectă neutronii înapoi în rezervor. În exterior, pila este închisă într-un înveliș de beton gros de 3 m. În acest înveliș s-au practicat cîteva canale. În unul din acestea se află un dispozitiv de înregistrare a numărului de neutroni (camere de ionizare, aparate speciale care măsoară intensitatea fluxului de neutroni și deci puterea pilei); pe această cale se determină intensitatea reacției în lanț. Se mai află practicate în peretele de protecție un număr de canale în care se introduc substanțele ce urmează a fi iradiate cu neutronii care ies din pila atomică; acestea pot deveni astfel substanțe radioactive artificiale (izotopi radioactivi).

Reactorul nuclear este în prezent cea mai folosită sursă de neutroni pentru iradierea substanțelor și producerea izotopilor radioactivi artificiali. Pe bază de energie atomică, folosită în scopuri pașnice, a fost construită și pusă în funcțiune prima centrală atomo-electrică din lume, care produce energie electrică pentru scopuri industriale. Această centrală, de 5 000 kW, a fost realizată în 1954, în U.R.S.S. Reactorul centralei atomo-electrice a Academiei de științe a U.R.S.S. are o putere termică de 30 000 kW și funcționează în prezent cu puterea de 5 000 kW; ea funcționează cu neutroni lînți, folosind ca încetinitor grafitul. Pentru evitarea aprinderii, grafitul

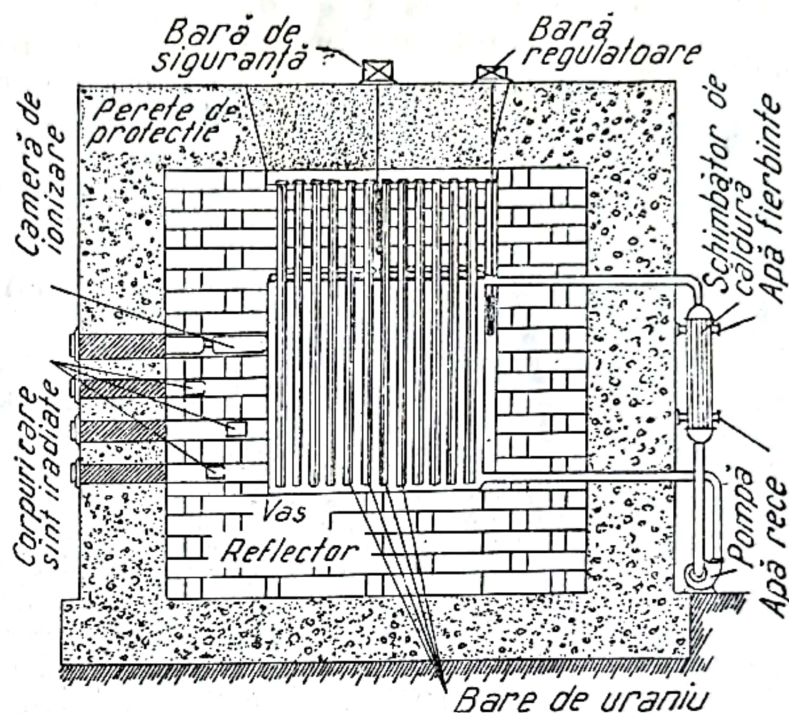


Fig. 570 — Schema unei pile atomice (F. Joliot-Curie).

se află într-o atmosferă de heliu sau de azot. Barele de uraniu și barele de carbură de bor sînt răcite cu apă. În Franța, a fost pusă în funcțiune, în octombrie 1956, o centrală atomo-electrică. În U.R.S.S. Anglia și S.U.A., se construiesc în prezent centrale atomo-electrice de mare putere.

Reactorii nucleari produc un număr extrem de mare de neutroni care scapă nefolosiți. Folosind acești neutroni (deșeurii de fabricație a energiei calorice pe cale nucleară) la iradierea unor substanțe chimice, se obțin izotopi radioactivi artificiali, folosiți în terapeutică, în cercetarea științifică și ca indicatori fizici (atomi marcați), care arată decursul diferitelor procese fizico-chimice, biologice și tehnice.

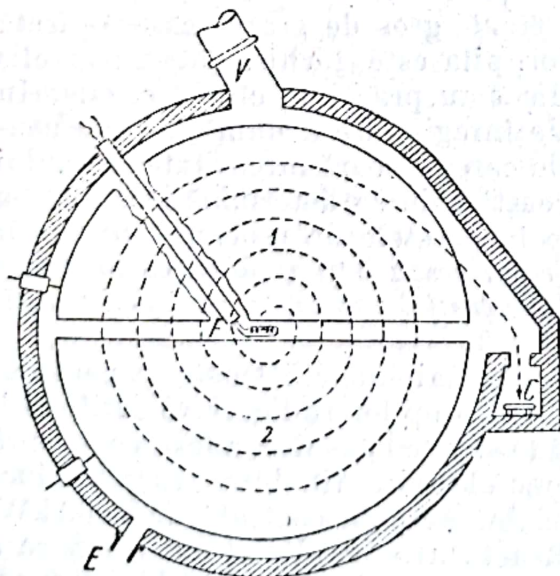
c) **Elementele transuraniene.** În fine, un alt rezultat important al fisiunii nucleelor constă în faptul că reacțiile nucleare, aducînd atomilor grei neutroni, protoni și electroni, dau naștere la elemente noi, artificiale, care nu au fost descoperite pînă acum în natură. În tabelul care reprezintă clasificarea lui Mendeleev, și care cuprindea pînă în deceniul trecut ca ultim element uraniul cu numărul atomic $Z = 92$, au apărut pînă în prezent elementele transuraniene: neptuniu 93, plutoniu 94, americium 95, curiu 96, berkeliu 97, californiu 98, ateneum (afiniu 99), centuriu 100 și mendeleeviu 101.

2. APARATE ACCELERATOARE

Particulele folosite la producerea transmutațiilor trebuie accelerate pentru a putea căpăta energia necesară.

În afară de primele surse de proiectile rapide, care au fost substanțele radioactive naturale ce emit radiații α , sînt folosite azi pentru producerea unor particule rapide sursele de ioni; de multe ori acestea sînt simple tuburi cu descărcare în gaze rarefiate. Ele conțin, la presiunea dorită, gazul din care dorim să formăm ioni și pe care îl supunem unei diferențe de potențial auxiliare. Deseori se așază în tub un catod cald, a cărui emisiune electronică provoacă formarea de ioni. Cu heliu se realizează particule α pe cale artificială.

Tehnica modernă a pus la dispoziția cercetătorilor aparate de mare putere.



F — filament; C — țintă; 1 și 2 — duanți;
V — canal pentru ieșirea fasciilor.

Fig. 571 — Schema unui ciclotron.

a) **Generatorul de foarte înaltă tensiune.** Pentru accelerarea particulelor, van de Graaf a construit un generator de tensiune foarte înaltă pe care l-am descris la producerea razelor Röntgen. În practică, producerea unei tensiuni electrostatice înalte este limitată de pierderile prin efluvii, egrete și prin dimensiunile foarte mari pe care trebuie să le aibă construcția în care se instalează generatorul.

b) **Ciclotrenul**, construit de Lawrence, este un aparat care produce accelerarea particulelor pozitive prin impulsuri multiple; acestea se aplică repetat și sînt formate din diferențe relativ mici de potențial, utilizînd proprietatea

înaltei frecvențe și o traiectorie circulară a particulelor electrizate, într-un cîmp magnetic uniform. În centrul aparatului se află un filament incandescent F (fig. 571) și doi electrozi semicilindrici în formă de cutii 1 și 2 la care se aplică o tensiune alternativă de înaltă frecvență ($\nu = 20 - 30$ MHz). Acest aparat este așezat între polii unui puternic electromagnet. Electronii emiși de filamentul incandescent sînt accelerați de o tensiune de o mie de volți, astfel că pot ioniza moleculele de gaz aflate sub o presiune foarte redusă în aparat. Protonii sau deutonii astfel obținuți parcurg traiectoria înspirală, sub acțiunea cîmpului magnetic. În drumul lor, ei suferă accelerarea prin acțiunea electrică a celor doi electrozi în formă de semicilindri numiți

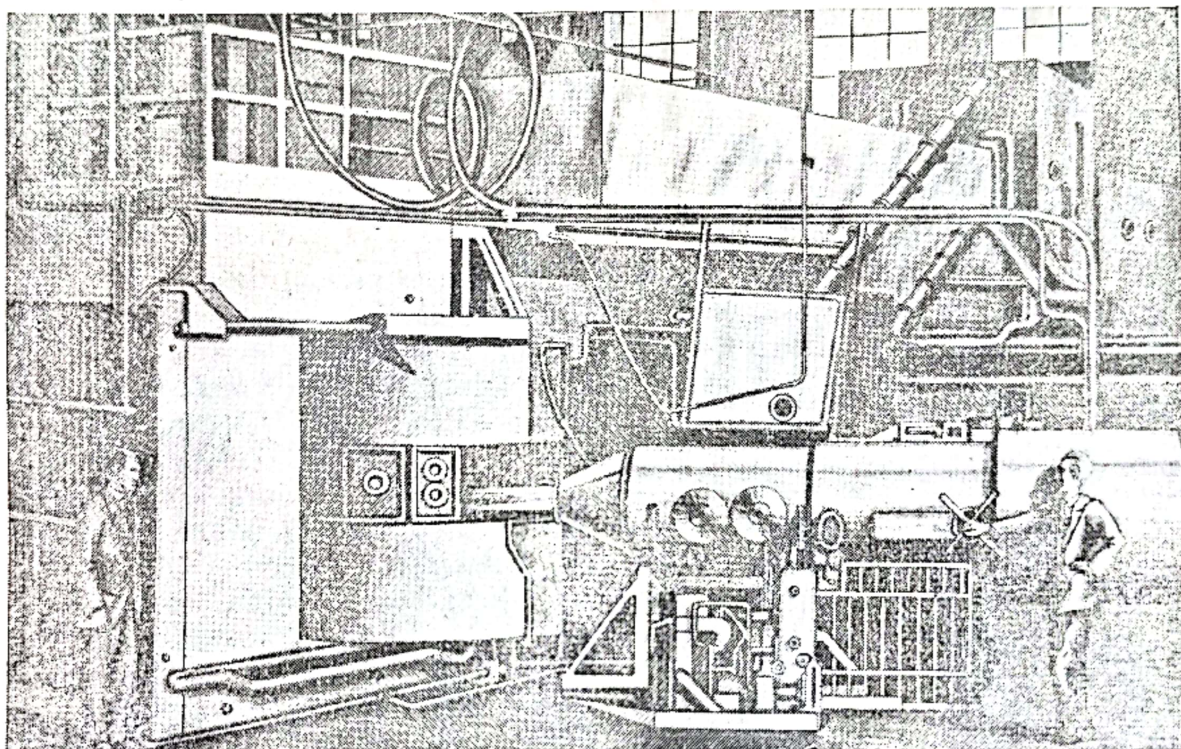


Fig. 572 — Ciclotron cu piesele polare de 1,5 m diametru.

duanți. Viteza lor se mărește, și în același timp raza traiectoriei lor spirale se mărește, astfel că ei parcurg interiorul fiecărui electrod mereu în timpul unei semiperioade, căpătînd accelerații în ritmul curentului de înaltă frecvență. Dacă durata de rotație a ionilor în cîmpul magnetic coincide cu perioada de oscilație a tensiunii de înaltă frecvență acceleratoare, ionii primesc impulsuri periodice în momentul necesar și capătă astfel două accelerații de fiecare cerc; viteza lor crește o dată cu raza traiectoriei, pînă ce acești ioni, ajungînd la periferia ciclotronului, sînt deflectați de o placă metalică care-i îndreaptă spre ținta de iradiat. În acest moment ei posedă o energie cinetică mare (de exemplu, 17 MeV), ceea ce le permite să elibereze particule din substanța iradiată. Cu heliul, ciclotronul a permis să se realizeze artificial particule α cu energia de 32 MeV, în timp ce particulele α naturale au maximum 8,8 MeV. Aspectul exterior al unui ciclotron cu piese polare de 1,5 m diametru, este redat în fig. 572.

c) **Betatronul.** Accelerarea electronilor prezintă interes pentru fizica nucleară în primul rînd ca mijloc pentru a studia interacțiunea electronilor rapizi cu nuclee și în al doilea rînd ca mijloc pentru obținerea unor fotoni γ foarte duri. Într-adevăr, fotonii γ emiși de sursele radioactive naturale

au o energie de cel mult 2,62 MeV, în timp ce pentru realizarea unor reacții nucleare cu ajutorul razelor γ sînt necesare, în majoritatea cazurilor, energii mult mai mari.

Diferite montaje tehnice, folosind transformatori obișnuiți, permit dublarea și triplarea tensiunii; ele permit obținerea unor tensiuni de ordinul megavoltilor, adică dau particule de energie de 1 MeV; ele ocupă însă mult spațiu. În afară de aceasta, energia de 1 MeV este insuficientă pentru scopurile fizicii nucleare. Energii mai mari se pot obține cu ajutorul generatorului electrostatic, dar și această instalație ocupă mult spațiu și nu permite obținerea unor electroni cu energii de mii de MeV.

Ciclotronul, folosit pentru particulele α , nu este utilizabil pentru obținerea unor electroni cu energii mari, din cauză că relația relativistă dintre masă și viteză este mult mai mare la particule atît de ușoare cum sînt electronii; astfel, creșterea masei m cu viteza este pentru electroni cu o energie de 10 MeV: $m = 22,3 m_0$, iar pentru cei cu energia de 100 MeV, $m = 196,8 m_0$ (m_0 fiind masa de repaus a electronului).

De asemenea, din cauza masei mici, raportul $\frac{e}{mc}$ este de aproape 2 000 de ori mai mare decît pentru protoni și aproximativ de 4 000 de ori mai mare decît pentru deutoni, ceea ce duce la o frecvență de rezonanță prea mare și creează dificultăți de natură radiotehnică.

În 1927, Wideroe a emis ideea de a se folosi inducția electromagnetică pentru obținerea unor electroni rapizi. Ideea accelerării electronilor prin inducție electromagnetică a fost dezvoltată de fizicianul Terletski. În 1941, Kerst a construit un accelerator de inducție, care a primit numele de *betatron*.

Principiul de funcționare a betatronului este bazat pe fenomenul inducției electromagnetice. Orice flux magnetic variabil produce un cîmp electric ale cărui linii de forță închise înconjură fluxul care produce inducția. În transformatori, acest cîmp provoacă apariția forței electromotoare în înfășurări. Dacă fluxul magnetic are simetrie axială, liniile de forță ale cîmpului electric indus au formă de cercuri concentrice, a căror suprafață este perpendiculară pe axa fluxului magnetic, iar centrul lor coincide cu proiecția axei pe această suprafață.

Dacă axat pe linia de forță electrică închisă se află un tub inelar, cu vid, în interiorul căruia se mișcă electronii, descriind cercuri cu raza constantă, cînd intensitatea cîmpului magnetic variază, cîmpul electric circular accelerează electronii; cu fiecare rotație, energia electronului crește. Această creștere de energie este relativ mică, dar poate deveni considerabilă dacă electronul face multe rotații. Presupunînd că viteza variației fluxului magnetic rămîne constantă timp de 10^{-3} s, se poate calcula energia pe care o cîștigă electronul, în acest timp, dacă reușim să-l obligăm a se roti pe aceeași linie de forță. Dacă la o rotație electronul cîștigă o energie de 20 eV, atunci la un diametru de 10 cm al orbitei, timp de 1 milisecundă, drumul electronului pe orbită va fi de 290 km, adică el va face 925 000 rotații, energia lui cinetică crescînd cu 18,5 MeV.

Electronul, care „cade” cu viteză inițială într-un cîmp magnetic perpendicular pe direcția de mișcare, continuă să se miște în aceeași suprafață; traiectoria se curbează însă cu atît mai mult cu cît intensitatea cîmpului magnetic este mai mare. Pe de altă parte, am văzut că variația intensității cîmpului magnetic provoacă creșterea energiei electronului și, ca o consecință, creșterea forței centrifuge: raza de curbura trebuie să se mărească. Cînd crește intensitatea cîmpului magnetic, aceste două fenomene contrare

se echilibrează și electronul se mișcă după o curbă cu raza constantă, adică după un cerc, cu viteză (mai corect energie) din ce în ce mai mare.

După lămurirea condițiilor teoretice, s-a construit un betatron experimental, în care electronii au fost accelerați până la o energie de 2,3 MeV; betatronul experimental este un aparat destul de mic pentru a putea sta pe o masă obișnuită de lucru (fig. 573).

Betatronul de 20 MeV este mult mai mare ($1,5 \times 0,5 \times 0,9$ m) și a servit în special pentru studiul posibilității de a utiliza în practică radiațiile ultradure pe care le generează. Puterea de alimentare a electromagnetului este de 26 kW. Un astfel de betatron de 20 MeV folosește un tub inelar cu vid, făcut din sticlă și funcționând cu pompă. Ulterior, tubul de sticlă a fost înlocuit cu un tub de porțelan special, vidat în fabrică. Suprafața interioară a tubului se argintează prin reducerea azotatului de argint. Stratul de argint se pune la pământ, pentru a preveni acumularea la suprafața tubului a sarcinilor electrostatice care ar putea influența mișcarea electronilor în interiorul tubului.

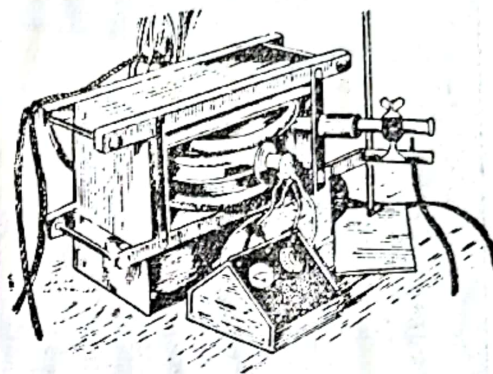


Fig. 573— Betatron de 2,3 MeV.

Drept sursă de electroni, în betatron servește un filament spiral încălzit, înconjurat de electrodul accelerator; între acesta și filament se aplică o tensiune de 15—20 kV, necesară pentru a imprima electronilor viteza inițială. Electrodul accelerator este legat de pământ.

Betatronul funcționează în modul următor: cîmpul magnetic al electromagnetului variază sinusoidal. La începutul perioadei, se transmite electrodului accelerator tensiunea.

Electronii accelerați cu ajutorul lui se introduc, de către cîmpul magnetic, în orbita de echilibru. Introducerea are loc la un anumit moment, căci altfel ar îngreuna condițiile de funcționare (nu ar mai cădea pe orbita de echilibru.) Pînă la intervalul de $T/4$, electronii circulă pe orbita de echilibru, accelerîndu-se pînă la energia de 20 MeV. În momentul cînd $t = T/4$, prin înfășurarea suplimentară de pe electromagnet, se trece un impuls de curent care modifică cîmpul magnetic. Raza de curbura a orbitei electronului crește, și fluxul de electroni se lovește de țintă, producînd reacții nucleare și fotoni de foarte mare energie.

Raza orbitei de echilibru în betatronul pentru 20 MeV este de 19 cm. În fiecare ciclu de accelerare, electronii execută circa 350 000 de rotații, parcurgînd un drum de 420 km. Curentul mediu la țintă atinge cam un microamper. La o energie de 20 MeV, 65% din energia cinetică a electronilor se transformă în energie a radiațiilor Röntgen, și numai 35% în energie calorică. Răcirea țintei nu mai reprezintă deci o problemă importantă.

Betatronul perfecționat în 1945 este o instalație foarte mare, în greutate de 125 tone; dă fotoni cu energia de 100 MeV, drumul electronilor fiind de 1 250 km (fig. 574). În 1950, betatronul dădea fotoni cu o energie de 300 MeV, iar în prezent se construiesc acceleratori și mai puternici pentru electroni.

d) Alte aparate de accelerare. Mai sînt folosite și alte aparate de accelerare, unele mai vechi, ca acceleratorii liniari de particule, altele mai noi: sincrotronul, fazotronul bevatronul, cosmotronul ș.a.; descrierea lor iese din cadrul cărții de față.

3. METODE DE DETECȚIE A PARTICULELOR ÎN FIZICA ATOMICĂ

În studiul proceselor nucleare se întâlnesc particule înzestrate cu energii foarte mari. Metodele experimentale ale fizicii nucleare permit studiul fiecărei particule în parte, pe când cu metodele experimentale obișnuite se obțin rezultate statistice ale unui număr mare de procese elementare, deci valori medii.

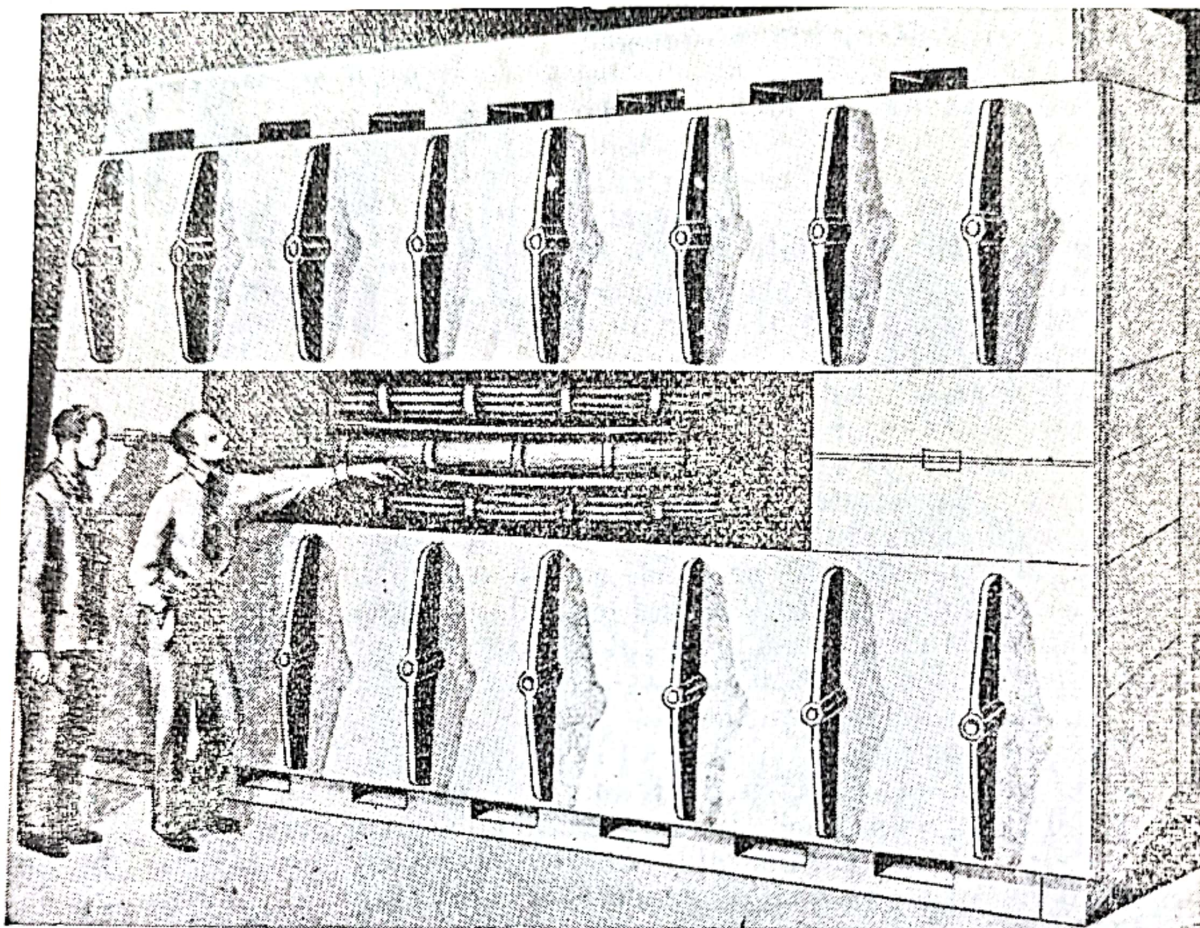


Fig. 574 — Betatron de 100 MeV.

Metodele mai mult folosite în detecția și studiul particulelor nucleare sînt cele bazate pe fenomenul de ionizare. În cadrul acestor metode de ionizare, se cunosc mai multe categorii: astfel se folosesc metoda măsurării intensității radiației și metoda de numărare a particulelor.

a) **Măsurarea intensității radiației** se face măsurînd gradul de ionizare a unui mediu prin care a trecut radiația.

Această metodă, pe care am întîlnit-o în radiologie, poate fi utilizată pentru a studia radiația unui corp radioactiv.

În general, orice dispozitiv de măsurare prin ionizare este compus dintr-o cameră de ionizare și un electroscoap sau un electrometru.

Electroscoapul. Metodele electroscoapice iau diferite forme, după tipul de radiație studiată sau după cum radioelementul este solid sau gazos. În fig. 575 sînt redată două electroscoape pentru radiațiile α și β .

Electrometrul. Electrometrul este, în general, un aparat destinat a măsura static o diferență de potențial și, în consecință, a măsura sarcina

adusă unui conductor, prin măsurarea potențialului, la care această sarcină aduce conductorul.

Curenții mășurați sînt foarte slabi, în general cuprinși între 10^{-8} și 10^{-13} A.

Considerînd un gaz ionizat între doi electrozi A și B , să legăm unul din acești electrozi A la un izvor de înaltă tensiune care idă astfel un potențial anumit (fig. 576). Sub acțiunea cîmpului, ionii de același semn cu A sînt respinși de A și primiți de B . Fie C capacitatea sistemului și Q sarcina adusă de ioni. Sistemul ajunge la un potențial V , astfel că $Q = CV$. Avem astfel

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (1)$$

presupunînd că C este constant. Practic se observă o variație de potențial $V_2 - V_1$, care se produce în timpul t , așa că avem

$$i = C \cdot \frac{V_2 - V_1}{t}. \quad (2)$$

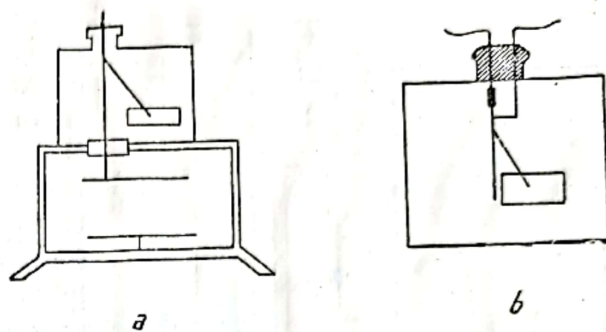
Dacă se fac observațiile totdeauna între aceleași valori extreme de potențial, diferența $V_2 - V_1$ va fi constantă, iar micile variații eventuale de capacitate se vor produce totdeauna la fel, fără a influența rezultatele. De aci rezultă că

$$i \approx \frac{I}{t}. \quad (3)$$

Dintre electrometrele uzuale vom descrie electrometrul bifilar al lui Vulf. Este compus dintr-un dispozitiv (fig. 577) în care două fire subțiri de platină, supuse unei ușoare tensiuni, sînt suspendate de un conductor. La încărcarea conductorului, firele căpătînd o sarcină de același fel, se depărtează în partea lor mijlocie, sus și jos fiind fixate. Cu ajutorul unui microscop se poate urmări apropierea firelor, deci pierderea sarcinii, prin ionizarea mediului.

Un alt electrometru, datorit tot lui Vulf (fig. 578) și construit în diferite variante de alți autori, este format din doi conductori K , încărcați la potențial egal și de semn contrar. Între ele se află suspendat un fir de platină foarte subțire L . Cînd acest fir primește o sarcină, el este atras de acela din conductori care este de semn contrar sarcinii firului. Intensitatea sarcinii se determină observînd la microscop devierea firului, care se face în funcție de potențialul firului și de cel al cîmpului electric dintre cei doi conductori. În unele aparate monofilare, cum este cel al lui Vulf, extremitatea inferioară este fixată de un resort ușor, din fir de cuarț.

Un electrometru de mare precizie este cel *electronic*, format dintr-o lampă triodă de tip special, cu grila foarte îngrijit izolată. Sarcina primită de grilă îi dă un potențial care influențează repartiția potențialelor în



a — Electroscop pentru raze α ; b — electroscop pentru raze β .
Fig. 575 —

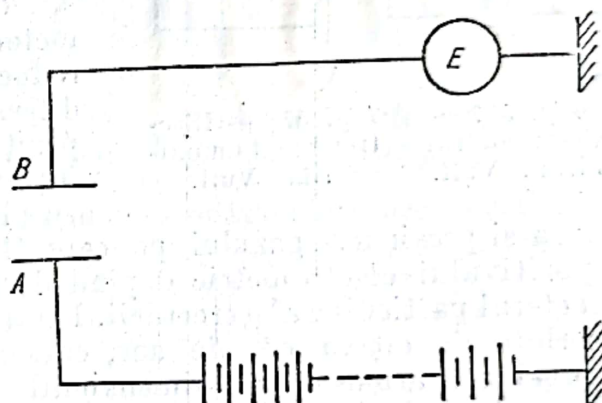


Fig. 576 — Electrometru (schemă).

interiorul triodei, și astfel variațiile curentului plăcii depind de sarcina primită de grilă.

În toate electrometrele este nevoie de un dispozitiv de punere la pământ a conductorului izolat, dispozitiv care este eliberat în momentul efectuării măsurării.

Un fapt de care trebuie să se țină seama la determinări este următorul: chiar în absența unei cauze de ionizare cunoscută, un dispozitiv electrometric sensibil arată totdeauna existența unui curent de ionizare; aceasta se datorește scăpărilor de-a lungul izolanților, activității materialelor din care este construit aparatul, sub influența unui izvor radioactiv, radiațiilor γ , ale substanțelor radioactive din sol, aer, pereții laboratorului și, în fine, razelor cosmice.

O suprafață metalică ce nu suferă nici o influență emite totuși 1—5 particule α pe oră și cm^2 . Razele cosmice și razele γ produc împreună 2 — 10 perechi de ioni pe secundă și cm^3 de aer, la temperatura și presiunea normală.

Camera de ionizare. Variantele în metodele de măsurare prin ionizare se reduc deci la variații în construcția diferitelor camere de ionizare, adică în poziția reciprocă a celor doi conductori între care se află mediul ionizat.

Dimensiunile camerei de ionizare, natura și presiunea gazului pe care îl conține, precum și sensibilitatea dispozitivului electrometric depind de tipul de radiație de măsurat și de caracterul particular al cercetării. Pentru particulele α , care sînt complet absorbite de cîtiva cm de aer, camera este de obicei umplută cu aer la presiunea atmosferică; dimensiunile ei liniare nu trebuie să depășească parcursul particulelor.

Adesea este de preferat, pentru simplificare, ca însuși electroscopul sau electrometrul să constituie și cameră de ionizare. Izvorul de raze α este așezat de obicei în interiorul aparatului, deoarece un perete cît de subțire este suficient pentru a absorbi, cel puțin parțial, particulele, așa că măsurarea ar fi denaturată.

Pentru radiațiile β , care sînt mai penetrante, se pot întrebuița camere de ionizare mai mari; izvorul este așezat de obicei în afara camerei.

În cazul razelor γ , ca și al radiațiilor Röntgen, pentru a face să crească ionizarea este bine să se înlocuiască aerul printr-un gaz mai absorbant, cum ar fi CH_3I sau CH_3Br , sau să se mărească presiunea (în practică pînă la 30 — 50 atm); trebuie relevat că sensibilitatea nu crește proporțional cu densitatea, deoarece la presiuni ridicate are loc o recombinație mai accentuată a ionilor formați.

Acastă recombinație poate fi evitată în mare măsură întrebuițînd gaze rare în stare pură (argon), pentru care efectul de recombinație se menține slab pînă la presiuni destul de ridicate. Întrebuițarea presiunilor ridicate mai are avantajul de a micșora ionizarea parazită datorită particulelor α emise de pereții camerei de ionizare (efectul perete).

Toate măsurările se fac avînd în vedere curentul de saturație. Astfel, se constată că în ce privește cele două plăci ale condensatorului camerei

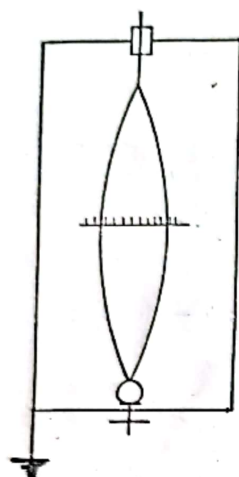


Fig. 577 —
Electrometrul
bifilar Vulf.

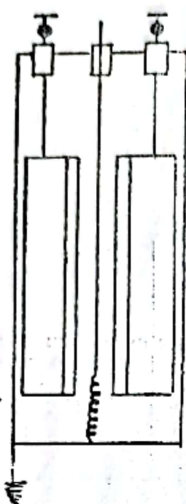


Fig. 578 — Elec-
trometrul moni-
filar Vulf.

de ionizare, pe măsură ce tensiunea crește, ionii sînt atrași în număr mai mare de placa de semn contrar și curentul crește. Creșterea curentului nu este însă nelimitată; la un moment dat, toți ionii produși în aer de radiații sînt atrași de plăci și, oricît am spori tensiunea, nemiaproducîndu-se ioni în plus, curentul nu va mai putea spori. Curentul de ionizare, care la începutul experienței era proporțional cu tensiunea și deci satisfăcea legea lui Ohm, este acum independent de mărirea tensiunii, și are o valoare constantă. Deoarece toți ionii sînt utilizați, curentul se numește curent de saturație. Dacă tensiunea crește însă foarte mult, ionii vor căpăta o viteză foarte mare și vor produce ei înșiși ionizarea celorlalți atomi, așa că numărul ionilor crește foarte mult. Curentul va crește deci brusc, și la un moment dat va avea loc o descărcare disruptivă, intensitatea curentului depinzînd de rezistența restului circuitului. Ionizarea s-a făcut în acest caz prin ciocnire (șoc). Graficul din fig. 579 reprezintă curba curentului de ionizare, la început sub forma cerută de legea lui Ohm, apoi curentul de saturație și, în fine, curentul de șoc.

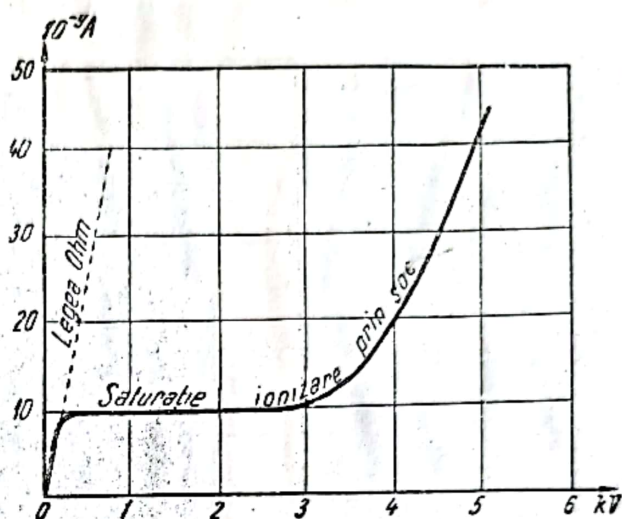


Fig. 579 — Curba curentului de ionizare (în 10^{-9} A) în funcție de tensiune (în kV).

La stabilirea curentului de saturație în camera de ionizare, acest curent este proporțional cu numărul ionilor, care depinde de numărul de fotoelectroni produși; la rîndul lor, acești fotoelectroni depind de intensitatea radiațiilor incidente. Intensitatea curentului, măsurată cu precizie, dă deci indicații asupra intensității radiației.

Pentru fotonii razelor X se utilizează o cameră de ionizare care are lungimea de 8 cm și diametrul de 2 cm, construită dintr-o substanță conductoare, cu număr atomic mic (de exemplu grafit). În interiorul camerei (fig. 580) se află un fir conductor bine izolat, pus în comunicație cu un dispozitiv, care produce o diferență de potențial importantă între firul metalic axial și pereții camerei de ionizare. Aerul din cameră fiind izolator, și pereții camerei fiind puși la pămînt, descărcarea nu se va putea face, deși tensiunea este destul de mare. Iradiînd camera cu un fascicul de raze Röntgen, acestea vor ioniza aerul din interiorul camerei și vor produce descărcarea electrică a firului axial prin pereții camerei, la pămînt. Va lua naștere un curent electric a cărui intensitate și durată o putem măsura cu ajutorul electrometrului.

b) **Metoda de numărare a particulelor.** Prima metodă susceptibilă de a decela trecerea unei particule α sau a unui proton și deci de a număra particulele constă în folosirea unui electrometru extrem de sensibil, legat de o cameră de ionizare.

Electrometrul decellează variația de potențial a electrodului care colectează ionii produși de particulă. Se înregistrează devierea firului electrometrului pe un film fotografic în mișcare. Fiecare particulă este decelată printr-o deviere bruscă a spotului, deviere a cărei mărime depinde de numărul ionilor produși. Acest aparat dă rezultate bune numai dacă numărul particulelor este mic.

Amplificatorul proporțional. S-au mai elaborat o serie de metode de amplificare, printre care metoda amplificatorului proporțional. Acest aparat este format dintr-o cameră mică de ionizare, legată de un amplificator electronic cu 5 sau 6 etaje de amplificare. Ionii formați în cameră de o particulă puternic ionizată (particulă α , proton) sînt colectați repede de electrodul izolat. Sarcina astfel apărută pe electrod produce o variație de curent a primului etaj, variație care, după amplificare în celelalte etaje acționează un contor sau un oscilograf de înregistrare. Metoda permite decelarea unei particule și identificarea naturii și energiei ei.

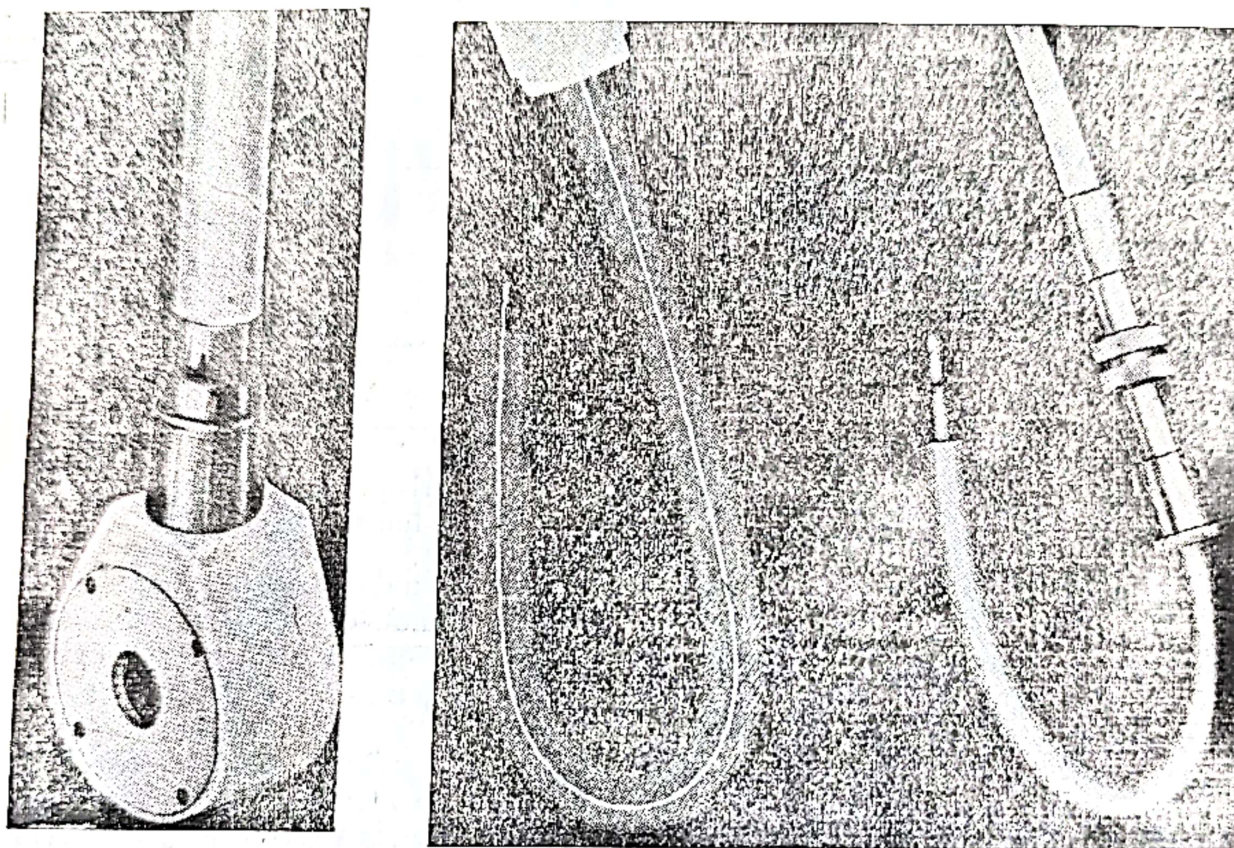


Fig. 580 — Camere de ionizare (la mijloc, radiografia camerei din dreapta).

Contorul Geiger (1913). Am arătat că într-o cameră de ionizare, de îndată ce diferența de potențial atinge o valoare suficient de mare, curentul de ionizare este considerabil amplificat din cauza ionizării prin șoc. Pe acest principiu, Geiger a construit în 1913 un contor de particule, al cărui principiu este următorul: între un vîrf foarte subțire aflat într-o cameră de ionizare și pereții acestei camere (fig. 581) se stabilește o diferență de potențial astfel aleasă încît să fie puțin mai mică decît potențialul disruptiv. Sosirea unei particule ionizante în cameră ionizează gazul din ea și permite descărcarea disruptivă. În circuitul de înaltă tensiune se află o rezistență mare R : de îndată ce se produce descărcarea, această rezistență determină o cădere de potențial care întrerupe descărcarea. Așezînd un telefon în circuit, se poate percepe prin șocuri acustice fiecare particulă intrată în camera de ionizare. Cu ajutorul unui electrometru se poate obține un dispozitiv de înregistrare; se poate de asemenea amplifica și căderea de potențial, și putem înregistra cu un contor numărul particulelor care pătrund în cameră.

Contorul Geiger-Müller (1928) este un aparat perfecționat. Un fir metalic foarte subțire este întins axial într-un cilindru metalic, de pereții căruia este izolat (fig. 582). Pereții subțiri ai cilindrului sint conectați la polul negativ și firul la polul pozitiv al unei surse de înaltă tensiune.

Presiunea gazului din cilindru este adusă la cîtiva cm de mercur. Ca și în cazul aparatului Geiger descris mai înainte, tensiunea este și în circuitul acestui aparat imediat inferioară celei disruptive. Intrarea unei particule ionizate sau a unui foton în cilindru permite amorsarea descărcării. Rezistența mare din circuit servește să întrerupă descărcarea și să creeze o variație în potențialul grilei primei lămpi de amplificare. Pentru o funcționare mai sigură se înlocuiește rezistența printr-un montaj electronic cu tuburi triode, pentode etc. În fig. 583 este redată schema de principiu a unui astfel de montaj cu pentodă. Impulsul, devenind destul de puternic, poate declanșa un dispozitiv electromagnetic de numărare (contor) și să învingă inerția acestuia cînd particulele sosesc în număr mai mare (fig. 584).

Pereții contorului Geiger-Müller se construiesc din materiale diferite, iar forma contorului variază după destinația lui. Astfel, pentru raze α , contorul trebuie să aibă pereții foarte subțiri. Variația de potențial de la capetele rezistenței, amplificată cu lămpi electronice,

poate acționa un difuzor sau un contor electromagnetic. Pentru neutroni este folosită ionizarea secundară pe care aceștia o produc proiectînd protonii din atomii de hidrogen cu care se umple în acest caz contorii.

Spre deosebire de contorul proporțional, care dă pentru fiecare perechi de ioni primari o sporire de curent și care permite astfel deosebirea impulsurilor date de particulele α și β , contorul Geiger-Müller înregistrează în mod egal impulsurile date cu puteri diferite. Amplificarea a sporit mult prin construcția contorului cu tuburi electronice, dar posibilitatea deosebirii particulelor ionizante primare se pierde.

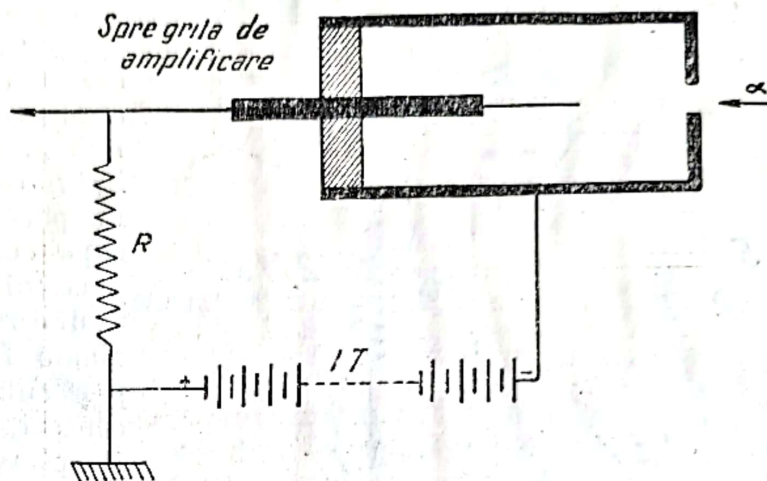


Fig. 581 — Contor Geiger.

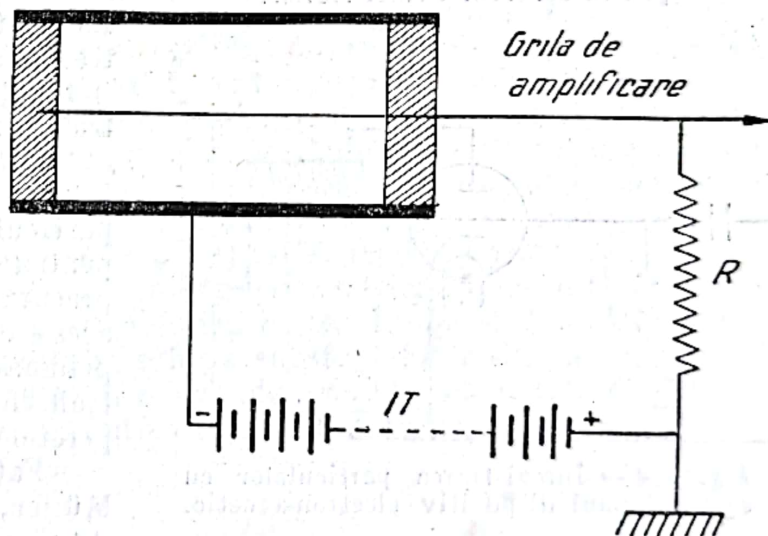


Fig. 582 — Contor Geiger-Müller.

Caracterul funcționării unui astfel de contor depinde de diferența de potențial V dintre firul care constituie electrodul central, întrebuitat de obicei ca anod, și camera cilindrică, care constituie de obicei catodul, și al cărei diametru este 2 cm. Contorul este așezat într-un înveliș din care s-a scos aerul și care poate fi umplut cu anumite gaze, sub presiune redusă. În funcție de valoarea lui V , aparatul funcționează, fie ca o cameră de ionizare obișnuită, fie ca un contor proporțional, fie ca un contor Geiger-Müller propriu-zis.

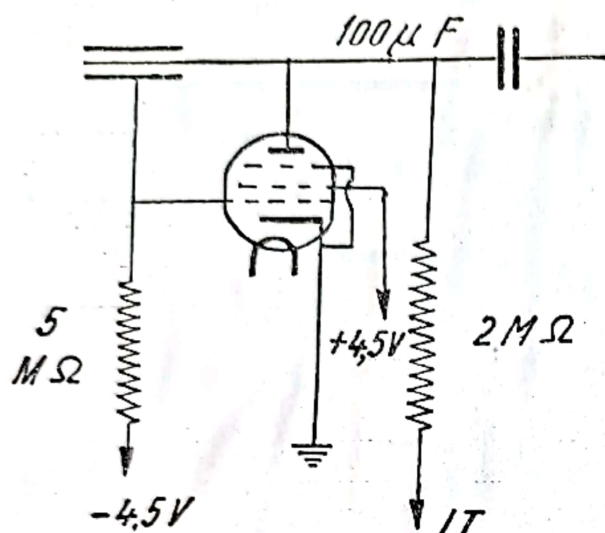


Fig. 583—Montaj de amplificare cu pentodă pentru contorul Geiger-Müller.

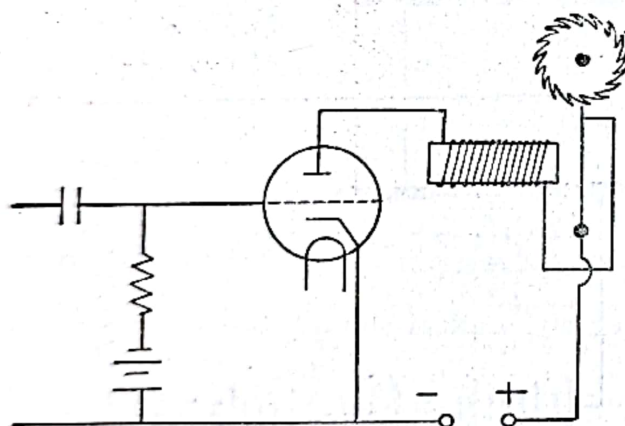


Fig. 584 — Înregistrarea particulelor cu ajutorul unui dispozitiv electromagnetic.

nu reacționează la razele γ ceea ce are drept urmare că înregistrarea particulelor este liberă pe filmul fotografic în mișcare, de fondul provocat de înregistrările razelor γ .

Numărarea scînteierilor luminescente. Metoda cea mai veche prin care au fost numărate particulele este metoda vizuală. Ea a fost realizată în forma cea mai simplă cu ajutorul *spintariscopului* lui Crookes. Privind la microscop un ecran de sulfură de zinc iradiat cu particule rapide emise de o sursă nu prea intensă de particule α , se numără scînteierile luminescente provocate de ciocnirea fiecărei particule de ecran. Această metodă a fost folosită cu succes în prima etapă a dezvoltării fizicii nucleare, și a fost aplicată de Rutherford în 1919 la primele transmutații (fig. 586). Cu ajutorul unor astfel de aparate au fost descoperite și studiate primele pro-

Pentru unele lucrări experimentale de fizică atomică este utilizat montajul numit în coincidență, care funcționează numai cînd particula trece prin doi sau mai mulți contori. La grila tubului final T (fig. 585) se aplică un potențial negativ care întrerupe curentul anodic. Dacă o particulă rapidă trece numai prin unul din contorii I sau II, lampa finală T nu funcționează. Dacă particula trece însă prin ambii contori, curentul se întrerupe în lămpile 1 și 2, se întrerupe curentul de negativare a grilei finale din T , și grila devine încărcată pozitiv. Prin lampa T trece un curent anodic care pune în funcțiune mecanismul înregistrator, mecanic sau fotografic.

Contorii Geiger-Müller pot fi întrebuițați pentru numărarea particulelor grele α și protoni, pentru particulele ușoare β precum și pentru fotonii γ . În acest din urmă caz, ionizarea primară se obține printr-un electron smuls de cuanta gama din peretele contorului.

Față de contorul Geiger-Müller, camera de ionizare descrisă anterior are avantajul că

cese de transmutație artificială a nucleelor atomice sub acțiunea particulelor α .

Metoda scînteierilor, fiind subiectivă, are dezavantajele acestei categorii de metode. Sensibilitatea mare a ochiului omenesc scade repede pe măsură ce observatorul obosește; de aceea, metoda a fost cîtăva vreme abandonată. În ultimii ani, metoda a fost reintrodusă sub o formă obiectivă. Scînteierile de pe ecranul fluorescent nu mai sînt privite cu ochiul,

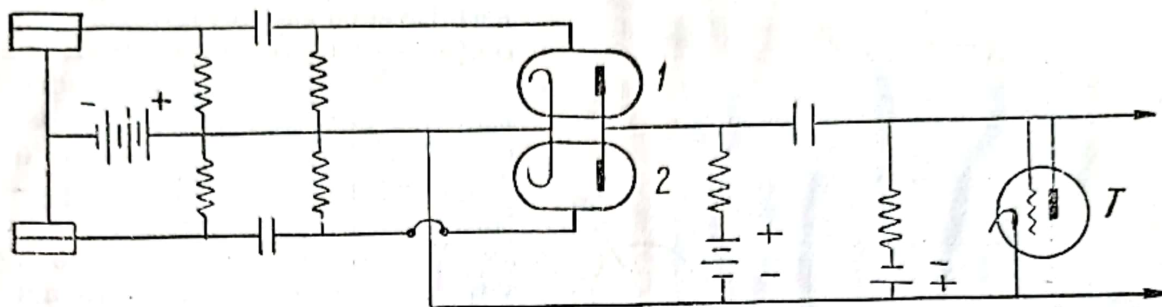


Fig. 585 — Montaj în coincidență.

ci sînt primite pe un dispozitiv fotoelectric de înaltă sensibilitate, care le înregistrează. Un astfel de aparat prevăzut cu un fotomultiplicator, construit de L. A. Kubețki, este format dintr-o celulă fotoelectrică cu vid, unde pe lângă fotocatod mai există 12 — 14 electrozi suplimentari, între care se stabilește o anumită diferență de potențial. Acești electrozi au rolul de multiplicatori, fiindcă electronii extrași de lumină din catodul principal, căzînd pe rînd pe electrozii ceilalți, eliberează electroni din aceștia. Ca rezultat se obține chiar în interiorul multiplicatorului o amplificare de ordinul 10^4 — 10^7 , iar tensiunea care iese din multiplicator mai poate fi supusă mai departe unei amplificări prin tuburi electronice.

Ca substanță luminiscentă se întrebuițează cristale de naftalină, antracen, fenantren, care dau o fluorescență albastră, pentru care fotocatozii de antimoniu-cesiu sînt foarte sensibili; aceste substanțe, fiind transparente, pot fi folosite sub formă de cristale groase, utilizîndu-se astfel fluorescența lor pe tot traiectul particulei ionizante. În locul cristalelor mari, greu de preparat, se folosește și soluția substanțelor menționate.

Contorii cu luminiscentă au o serie de avantaje chiar față de contorii Geiger-Müller. Puterea lor rezolutivă este mult mai mare decît a contorilor GM datorită lipsei de inerție a efectului fotoelectric.

c) **Fotografierea particulelor rapide.** Principiul acestei metode de detecție este aplicat în mai multe procedee de cercetare.

Camera Wilson. Camera Wilson este unul din cele mai importante mijloace de detectare a particulelor rapide. La baza funcționării ei se

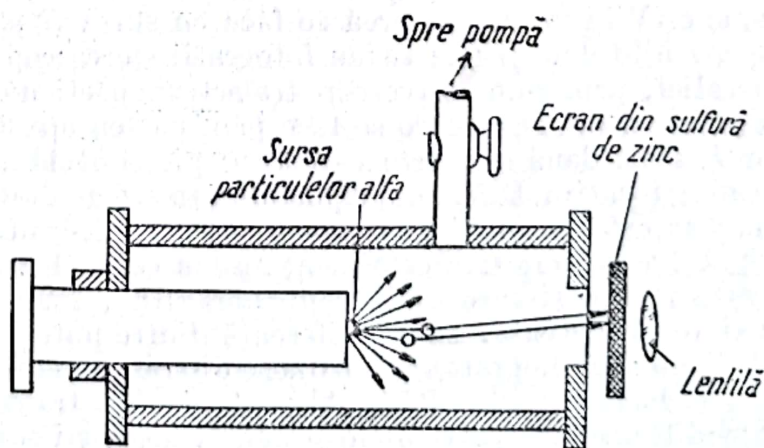


Fig. 586 — Spintariscopul lui Crookes.

află faptul descoperit de C.T.R. Wilson, că traiectoriile particulelor devin vizibile într-o cameră cu vapori, în condiții de bună iluminare.

Camera lui Wilson, camera de ceață sau camera de destindere (detentă), a fost construită în 1912. Pornind de la faptul cunoscut că vaporii saturați invizibili din atmosferă se precipită sub formă de picături fine pe particulele de praf, de fum etc., și apar astfel sub formă de ceață, Wilson a descoperit că și ionii au proprietatea de a înlesni formarea de picături mici în vapori saturați care sînt pe cale de condensare, așa că se poate

astfel vedea sau fotografia existența și drumul acestor ioni.

Producînd într-un cilindru umplut cu un amestec gazos, care conține vapori de apă, o destindere cu ajutorul unui piston, răcirea datorită decompresiunii provoacă o condensare a vaporilor de apă în picături foarte fine. Dacă această detentă se face adiabatic, într-o incintă cu totul lipsită de pulberi, și gazul din ea avînd umiditatea suficientă, se observă că picăturile se formează la început numai acolo unde se află ioni, aceștia devenind astfel centri de condensare. Trecerea unei particule ionizante (un proton cu o viteză mare, de exemplu) se manifestă deci printr-un lanț de picături condensate pe dîra de

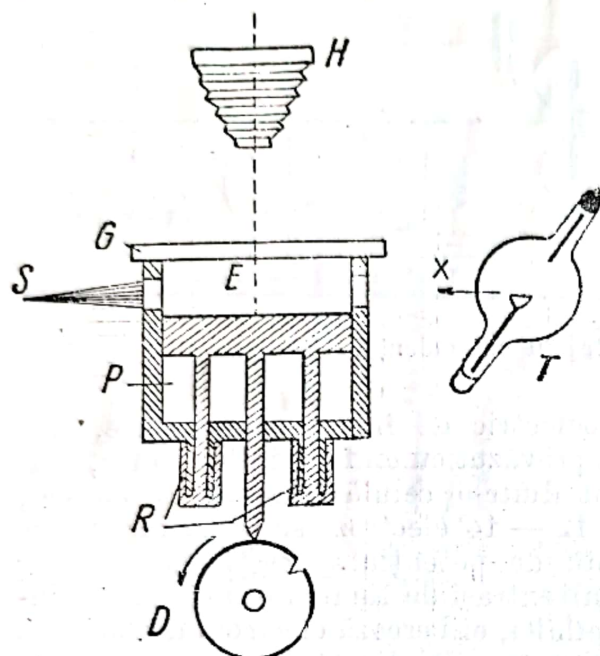


Fig. 587 — Schema camerei Wilson.

ioni pe care protonul i-a lăsat pe tot lungul drumului său rapid. Iluminînd puternic această dîră de picături, se poate lua o fotografie instantanee după foarte puțin timp de la destindere. Se pot vedea astfel pe fotografie, pe fond negru, punctele luminoase care corespund locurilor ionilor formați și deci drumului particulei.

În fig. 587 se arată principiul camerei Wilson. Pistonul *P* poate fi coborît prin rotirea dispozitivului *D*; de îndată ce coada pistonului intră în scobitură, pistonul coboară brusc, pentru a reveni apoi imediat după trecerea scobiturii. Fotografierea se face din direcția *H* prin geamul *G* al camerei Wilson. Iluminarea se face cu sursa *S* perpendiculară pe direcția de vizibilitate. Uneori se iau fotografii stereoscopice pentru a putea vedea în relief, printr-un stereoscop, traiectoria particulelor. Intrarea particulelor în camera de destindere se face prin partea opusă izvorului de iluminare. În *R* sînt două resorturi care trag pistonul în jos, echilibrate de mecanismul rotativ. Diferitele tipuri de camere de destindere construite pînă în prezent diferă numai prin modul cum se face destinderea.

Un cîmp electric este menținut în cameră pentru a elimina ionii produși spontan și care creează un nor difuz; acest cîmp este tăiat imediat înainte de detentă. Marea diferență dintre puterea de ionizare a diferitelor particule: α , β , protoni, provoacă diferențe nete de aspect ale traiectoriilor, și anume particulele α și protonii dau traiectorii continue de densitate diferită, iar particulele β dau traiectorii discontinue, ca un șir de mărgel.

În fig. 588 este redată o fotografie în camera Wilson; ea reprezintă o pereche de particule (pozitronul deviat spre dreapta, electronul spre stînga) care au luat naștere în decursul unor transformări radioactive.

Fotografia din camera Wilson redată în fig. 589 reprezintă dezintegrarea unui nucleu de azot prin particule α .

Metoda plăcilor fotografice. Principiul metodei a fost aplicat încă din prima epocă a studiului radioactivității. Am arătat cum placa fotografică a permis lui Henri Becquerel să descopere radioactivitatea. În metoda camerelor de ionizare, principiul a fost aplicat la înregistrare pe film.



Fig. 588—Fotografie în camera Wilson; electron deviat spre stînga, pozitron spre dreapta.

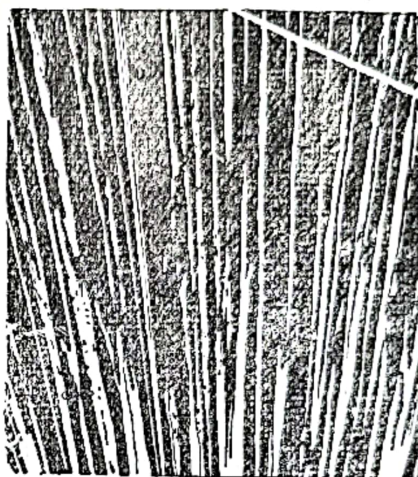


Fig. 589 — Dezintegrarea unui nucleu de azot prin particule α .

În prezent, progresul tehnicii fotografice făcînd să se poată dispune de emulsii foarte sensibile, metoda a fost reluată sub o formă perfecționată; ea constituie unul din mijloacele foarte apreciate de detectare a particulelor și de cercetare în fizica nucleară. Metoda înregistrării fotografice a traiectoriilor particulelor rapide prezintă în anumite condiții avantaje deosebite față de metodele descrise anterior. Astfel, s-a observat că dacă o particulă α pătrunde în emulsia fotografică a unei plăci sau a unui film, făcînd un unghi foarte mic cu suprafața acesteia, granulele de emulsie, întîlnite de particula α în drumul ei, devin developabile. Dacă după dezvoltare privim emulsia la un microscop care mărește de cîteva sute de ori, traiectoria particulei α este vizibilă. Dat fiind că particula α se mișcă într-un mediu foarte absorbant, lungimea traiectoriei este extrem de mică: 20—50 μ . Grosimea obișnuită a emulsiei fotografice fiind de circa 20 μ , pentru a lărgi posibilitățile acestei metode, L. V. Misovski a propus folosirea unei plăci fotografice cu o emulsie specială, groasă de 50 μ . Cu astfel de plăci se pot înregistra particule care pătrund în emulsie sub orice unghi (fig. 590).

A. P. Jdanov a obținut în 1945, pe această cale, fotografii foarte bune ale unor dezintegrări multiple ale nucleelor (explozia completă a nucleelor și expulzarea tuturor protonilor și neutronilor) sub acțiunea particulelor cosmice.

Traseul unei particule α emise de poloniu, de exemplu, are lungimea de 20 μ , așa că 1 cm² dintr-o placă fotografică folosită la înregistrarea mersului particulelor poate conține zeci de mii de urme care pot fi observate ușor la microscop.

Pentru cercetările de fizică nucleară se fabrică în prezent filme și plăci fotografice care se deosebesc de cele obișnuite printr-o concentrație de 10 ori mai mare în granule de halogenură de argint. Stratul de emulsie atinge o grosime de $100\ \mu$. Cu plăci de sensibilitate diferită se pot înregistra particulele α , protoni, deutoni, mezonii, fragmente de fisiune ale nucleelor grele și traiectoriile electronilor.

După dezvoltarea clișeeilor, traiectoriile se măresc pe cale fotografică. Se fac astfel microfotografii folosind microscopul cu imersie în ulei, pentru a se obține o mare putere de rezoluție. Dacă traiectoria nu se află în planul plăcii, ci este înclinată de la suprafața anterioară spre cea posterioară a emulsiei sau invers, se microfotografiază succesiv porțiuni diferite ale emulsiei și se constituie din ele un mozaic care dă o imagine a traiectoriei pe întreaga ei întindere.



Fig. 590 — Urmele particulelor α într-o emulsie fotografică groasă de $50\ \mu$.

d) **Detectarea neutronilor.** Metodele descrise până acum sînt potrivite pentru detectarea și înregistrarea particulelor cu sarcină electrică: particule α , protoni, deutoni. Pentru neutroni, problema se pune în chip deosebit, din cauză că ei nu au sarcină electrică și nu produc ionizarea; observarea lor directă prin metodele descrise este imposibilă. De aceea, pentru observarea neutronilor se folosesc metodele indirecte, adică se înregistrează efectele produse de neutroni. Aceste efecte sînt: nuclee de recul care iau naștere la difuziunea elastică a neutronilor, reacțiile nucleare provocate de neutroni și îndeosebi nașterea nucleelor radioactive artificiale sub acțiunea neutronilor.

La difuziunea elastică a neutronilor, nucleele difuzate suferă un recul; datorită acestui recul, nucleele capătă o energie mare dacă neutronul considerat este un neutron rapid, adică dacă are o energie de ordinul megaelectronvolților.

Aceste nuclee de recul pot fi observate, prin urmele lor în camera Wilson. Nucleele de recul permit de asemenea detectarea neutronilor cu ajutorul camerelor de ionizare sau al contorilor. Astfel de pildă, în fața unei camere de ionizare se poate așeza un strat de parafină; la difuzarea elastică a neutronilor în parafină se eliberează protoni, care produc ionizarea gazului din cameră. Eficacitatea acestei metode este însă mică. S-a calculat că 10 000 neutroni de 1 MeV eliberează cam 7 protoni dintr-un strat gros de parafină; dacă energia neutronilor crește, raportul dintre numărul de neutroni și cel de protoni eliberați crește proporțional cu energia neutronilor. În acest caz, pentru o mai bună eficacitate a metodei, se recomandă umplerea camerelor de ionizare cu hidrogen, cu hidrocarburi (CH_4 ; C_2H_6 ; C_3H_8) sau alte substanțe care conțin hidrogen (NH_3 , H_2S).

Reacțiile nucleare sînt mult mai eficace pentru detectarea neutronilor. Pentru neutronii lenți se folosește cu deosebită eficacitate reacția nucleară cu borul B^{10} în care se eliberează particule α . În acest caz se pot folosi, atât contori, cât și camere de ionizare. Contorul ori camera de ionizare se umple cu trifluorură de bor BF_3 , în care are loc reacția cu neutroni. Dacă vrem să aplicăm această metodă neutronilor rapizi, aceștia sînt trecuți în prealabil printr-un strat de parafină (amestec de hidrocarburi cu un număr mare de atomi de hidrogen). La ciocnirea cu nucleul de hidrogen, neutronul, care are aceeași masă ca și nucleul de hidrogen, pierde în medie jumătate din energia sa. De aceea, chiar după un număr mic de ciocniri,

energia neutronilor se micșorează mult, atingând o valoare corespunzătoare echilibrului termic la temperatura dată. *Neutronii termici* astfel obținuți sînt detectați ușor cu contori sau în camera de ionizare cu BF_3 .

Pentru observarea calitativă a neutronilor este ușor să se folosească drept indicator apariția radioactivității artificiale. În acest scop sînt adesea folosiți indiul, argintul, rodiul și alte cîteva elemente. Prin reacția cu neutroni iau naștere izotopi radioactivi ai acestor substanțe, care se examinează cu ajutorul contorilor.

În fine, observarea neutronilor se poate face cu ajutorul unor emulsii fotografice speciale. În acest scop, la plăcile fotografice cu emulsie groasă se adaugă săruri de litiu sau bor. În urma reacțiilor cu Li^6 și B^{10} se observă în emulsie urme ale unor nuclee de heliu, care iau naștere în reacția nucleară.

Dozimetria și detectarea neutronilor constituie obiectul a numeroase cercetări și lucrări monografice de specialitate.

4. IZOTOPII RADIOACTIVI

a) **Producerea radioelementelor artificiale.** Am arătat că pentru obținerea izotopilor radioactivi se utilizează iradierea nucleelor atomice cu particule încărcate pozitiv (protoni, deutoni, particule α) sau cu neutroni. Uneori se folosesc și razele γ foarte dure. În diferitele paragrafe anterioare s-a arătat și mecanismul nuclear al producerii izotopilor și că radioelementele artificiale se dezintegrează cu emisie de electroni ori de particule α .

Un izvor deosebit de important de izotopi radioactivi este reactorul nuclear (pila atomică). În pila atomică se obțin, sub formă de fragmente rezultate din fisiune, o mare cantitate de atomi radioactivi situați pe la mijlocul sistemului periodic, de la elementul cu $Z = 30$ pînă la elementul cu $Z = 62$. De asemenea, diferite substanțe introduse în învelișul de protecție al pilei sînt supuse iradierii energice cu neutronii rezultați din dezintegrările care au loc în pilă; substanțele iradiate devin radioactive. Astfel se pot obține radiolitiu, radiobor, radiocarbon, radioazot, radiooxigen etc., izotopi radioactivi ai elementelor de la începutul tabelului lui Mendeleev.

Corpul omenesc, prin conținutul său de $0,003 \text{ g K}_{19}^{40}$ și 10^{-9} g Ra , precum și prin razele cosmice care pătrund în el, numără aproximativ 10 000 atomi radioactivi care se dezintegrează în fiecare secundă.

b) **Utilizarea atomilor marcați.** Izotopii radioactivi servesc drept indicatori în diferite domenii; ei au primit din această cauză denumirea de *atomi etichetați* sau *atomi marcați*. Principiul acestei utilizări este următorul: se adaugă elementului pe care vrem să-l studiem un izotop al lui, însă radioactiv; în cursul reacțiilor sau al proceselor fizico-chimice la care participă, se poate urmări elementul prin examinarea radioactivității izotopului care-l însoțește. Datorită radiațiilor emise putîndu-se identifica infime cantități de substanță radioactivă, se pot pune în evidență cantități de substanțe mult inferioare posibilităților obișnuite de detectare prin metodele obișnuite de laborator.

Întrebuințarea izotopilor radioactivi deschide căi noi pentru studiul proceselor fiziologice și patologice din organism.

Cu ajutorul izotopilor radioactivi se poate studia repartiția diferitelor substanțe în organismul animal. Astfel se utilizează iodul radioactiv pentru a studia absorbția și transformarea iodului de către glanda tiroidă.

În cazul fosforului indeosebi, s-a putut stabili, cu ajutorul fosforului radioactiv, că circa 30% din fosforul administrat per os scapă asimilației

în traiectul digestiv, în timp ce din atomii de fosfor introduși direct în circulația sanguină 4—25% sînt eliminați în 24 de ore; această eliminare scade ulterior foarte repede. Cantitatea de fosfor care rămîne în corp intră în structura diferitelor organe, îndeosebi a oaselor; acești atomi sînt mai curînd sau mai tîrziu deplasați prin sosirea unor atomi proaspeți de fosfor.

S-a putut măsura viteza de formare a diferiților compuși organici ai fosforului (eteri fosforici, lecitină etc.) în sînge și în diferitele organe. De un interes deosebit este studiul comportării fosforului în creier: dacă după 10 ore de la administrarea fosforului radioactiv unor șoareci sau altor animale se extrag fosfatidele din creier, se găsește că ele conțin fosfor radioactiv. Se știe însă că, în molecula de fosfatide, atomii de fosfor nu dau loc la simple reacții de schimb; a trebuit deci ca atomii de fosfor radioactiv să intre în moleculă în momentul sintezei acesteia. Prezența fosfatidelor radioactive în creierul unui animal adult după introducerea fosforului radioactiv în organism arată că aceste țesuturi sînt neconținut regenerate.

Experiențele făcute cu fosforul radioactiv P_{15}^{32} au arătat că organismul animal asimilează bine fosfații anorganici introduși în tubul digestiv.

Dacă se dizolvă clorură de sodiu în apă care conține radiosodiu, iar soluția este băută de un subiect care ține mîna pe un contor Geiger-Müller, acesta va înregistra peste cîteva minute fenomene radioactive, ceea ce arată că ionii Na^+ trec din aparatul digestiv imediat în sînge, răspîndindu-se astfel în toate părțile corpului; s-a stabilit că ionii de potasiu trec în sînge de două ori mai încet decît cei de sodiu.

În studiile de metabolism, atomii marcați aduc un ajutor însemnat.

Introducînd prin alimentație în organism substanțe care conțin azot și sînt marcate cu izotopul N_7^{15} , substanțele azotoase din organism sînt înlocuite treptat cu izotopul introdus, astfel că, după cîtva timp, se stabilește un echilibru între ele. O parte din azotul introdus se va elimina din organism, iar alta se va fixa pe diferite țesuturi. Făcîndu-se un examen al țesuturilor, se poate stabili modul cum se face metabolismul azotului în organism. S-a observat în albumina unor țesuturi (ficat, rinichi, sînge) că schimbul de azot cu azot marcat se face în decurs de 3—4 zile. În alte țesuturi (mușchi, inimă, splină) schimbul este complet după 1—2 săptămîni.

În ce privește lipidele, se constată că, în locul lipidelor cu atomi marcați depuse în țesuturi, participă la metabolismul lipidelor grăsimi din rezervele organismului. Această observație a permis să se stabilească faptul că rezervele de grăsime se consumă și se depun neînterupt.

Un fenomen similar se petrece și în oase. Dacă se introduce în organism un preparat cu fosfor radioactiv P_{15}^{35} , primele cantități de fosfor marcat apar după cîteva ore în dinți și în oase; echilibrul se stabilește abia după cîteva luni. În țesuturile în care fosforul participă activ la procesele biochimice (în ficat, rinichi, plasmă sanguină), echilibrul se stabilește după cîteva zeci de minute, iar în țesuturile nervoase și în creier, în cîteva zile. Cu ajutorul atomilor marcați s-a constatat că oasele, ca și celelalte organe, au proprietatea activă de a absorbi electiv substanțele necesare pentru activitatea lor vitală. Ele absorb foarte activ izotopii radioactivi ai fosforului și calciului. Această proprietate a oaselor crește foarte mult la nivelul fracturilor în curs de consolidare.

Deosebit de interesant este schimbul de fier, ce se face continuu în organism, schimb care a putut fi studiat cu ajutorul atomilor de fier radioactiv. Fierul este redus și absorbit în intestine; el se acumulează în organism sub formă de ferment și se găsește în cantitate mare în ficat,

splină și măduvă. Dacă din diferite motive fierul se elimină, organismul folosește fierul de rezervă și nu cel introdus prin alimentație. S-a confirmat reutilizarea fierului eliberat prin distrugerea eritrocitelor.

În ultima vreme, cercetătorii au ajuns cu ajutorul atomilor marcați la concluzia că la metabolism participă și manganul, argintul, aurul, mercurul. Manganul activează fermenții și în special arginaza, fosfoglucomutaza, carboxilaza, peptidaza. Organismul are nevoie de cantități foarte mici de mangan, de cobalt; lipsa acestora poate avea consecințe foarte neplăcute. Manganul se elimină prin rinichi, iar cobaltul prin tractul gastro-intestinal.

Cu ajutorul cuprului radioactiv s-a constatat că organismul are nevoie de cantități mici de cupru și că lipsa acestuia din organism oprește creșterea și împiedică formarea hemoglobinei. În mod analog se resimte organismul și din cauza lipsei de zinc.

S-a putut de asemenea urmări formarea în organism a substanțelor biochimice. Astfel s-a stabilit cu ajutorul atomilor marcați că grăsimile se sintetizează în organism numai în prezența acidului acetic. În ce privește lecitina, cea din lapte este sintetizată în glanda mamară, pe când cea din ou se formează în ficat și este apoi fixată în oul.

Studiul acizilor nucleici, care cuprind fosfor, s-a făcut cu ajutorul fosforului radioactiv.

În plante, rolul diferitelor elemente se poate de asemenea urmări cu ajutorul atomilor marcați.

Un exemplu intuitiv îl prezintă studiul distribuirii fosforului în plante hrănite cu fosfați, care conțin fosfor radioactiv. Se dizolvă acești fosfați în apă și se toarnă în pământ la rădăcina plantei. După citva timp se smulge planta, se curăță de pământ și se așază pe o placă fotografică acoperită cu hîrtie neagră, pentru a o feri de lumină. Fosforul radioactiv, care însoțește pe cel neradioactiv, se dezintegrează, emițînd electroni rapizi, care trec prin hîrtie și impresionează placa fotografică, făcînd luminoase locurile unde se află fosfor radioactiv. În fig. 591 se vede cum fosforul se acumulează la planta begonia, mai mult în rădăcină și în tulpină și mai puțin în frunze.

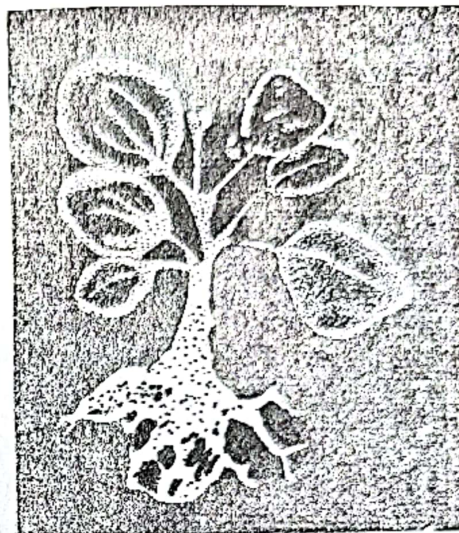


Fig. 591 — Autoradiografia plantei begonia, hrănită cu fosfor radioactiv.

Asemenea fotografii au fost numite autoradiografii.

Autoradiografia unei secțiuni făcute într-o pătlăgea roșie cu ajutorul radiației proprii a radiozincului absorbit de plantă din soluția nutritivă arată că zincul se concentrează în semințe.

Cu ajutorul radioazotului N^{13}_7 s-a arătat că în procesul creșterii orezul este capabil să fixeze cantități mici de azot liber.

Folosirea izotopilor radioactivi ai carbonului a arătat că luarea carbonului din aer, din descompunerea bioxidului de carbon prin procesul de fotosinteză, nu este singura cale de alimentare a plantei cu carbon. Cu ajutorul atomului de carbon marcat s-a putut constata că plantele iau carbonul și din carbonații din pământ.

Biologii sovietici au descoperit și studiat această funcție a sistemului radicular, care constă din faptul că rădăcinile absorb bioxidul de carbon din sol și-l transmit frunzelor și altor părți verzi ale plantei. Bioxidul de carbon din sol este folosit la fel ca și cel absorbit din aer, pentru sinteza glucidelor și altor produse de asimilație.

În fig. 592 este redată autoradiografia unei plante de fasole de 12 zile în alimentația căreia s-au introdus, prin rădăcină, și substanțe care au în compoziția lor carbon radioactiv C^{14}_6 .

Metoda atomilor marcați are numeroase întrebuințări în chimie și în diferitele domenii ale tehnicii. Aceste aplicații nu vor fi tratate aci, în cadrul lucrării de față fiind cuprinse numai aplicațiile de interes medical și biologic general.

c) **Aplicațiile izotopilor radioactivi în terapeutică.** Din numărul de aproximativ 1 000 de radioelemente cunoscute în prezent, peste 200 îndeplinesc condițiile pentru a fi utilizate în medicină.

Se pot astfel folosi substanțe radioactive care, localizându-se pe țesutul bolnav, îl iradiază un timp anumit, pînă cînd radioactivitatea substanței se micșorează sau pînă ce aceste substanțe sînt eliminate din organism.

Iradieră locului bolnav cu izotopi radioactivi prezintă unele avantaje față de iradierea cu raze Röntgen.

Reacțiile specifice ale organismului față de acțiunile radiațiilor ionizante de mare energie determină metoda de utilizare în practica medicală și în experimentarea biologică. Acțiunea biologică specifică a radiațiilor Röntgen și a izotopilor radioactivi este determinată de natura fizică a fiecăruia din acești agenți și de ca-

racterul special al interacțiunii sale cu substanța vie. În general, acțiunea biologică a diferitelor feluri de radiații ionizante este însă asemănătoare, datorită faptului că și interacțiunea cu materia vie are caractere generale asemănătoare. Deosebirile specifice menționate mai înainte se explică prin distribuția diferită, în timp și spațiu, a energiei în organism și prin diferența dintre densitățile de ionizare date de fiecare agent, diferențe care condiționează transformările biofizice și biochimice ulterioare (modificări ale diferitelor componente ale protoplasmei etc.).

Se crede că țesuturile canceroase sînt mai sensibile față de neutroni, și de aceea se recomandă neutronoterapia.

La tratamentul cu izotopi radioactivi trebuie să ținem seama că substanța radioactivă introdusă în organism trebuie să fie de 10 ori mai mare în cantitate decît cea înregistrată de aparate, deoarece preparatul radioactiv se diluează în organism. Pe de altă parte, administrarea unei canti-

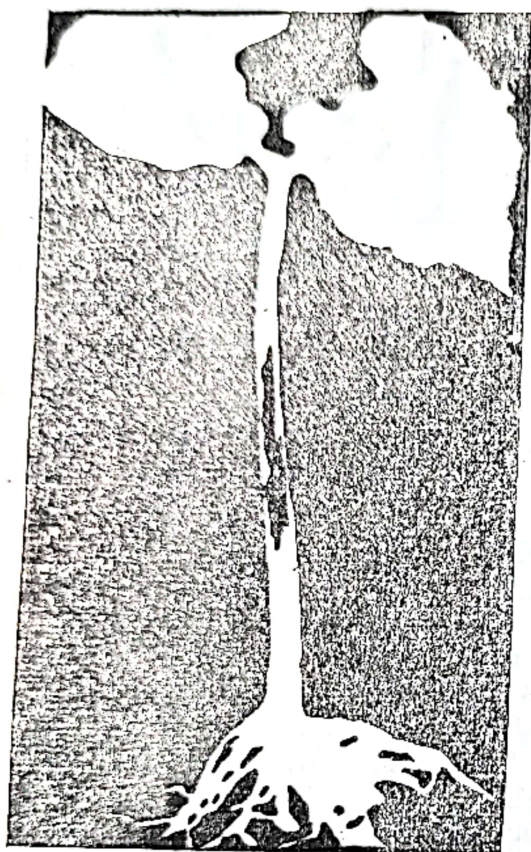


Fig. 592 — Autoradiografia unei plante de fasole, hrănită prin rădăcini cu $C^{14}O_2$.

tăți mari de substanțe radioactive poate avea urmări neplăcute. De aceea se studiază problema unei dozări optime a diferitelor substanțe radioactive care pot fi administrate omului.

În terapeutică, fosforul radioactiv se întrebuințează cu succes în leucemii provocate de boli ale țesutului mieloid din măduvă. În tratamentul cu raze Röntgen se produce o scădere bruscă a limfocitelor în sânge, dar scăderea numărului de leucocite se întrerupe după un anumit timp și reîncepe o creștere a lor. Prin iradierea cu radiofosfor introdus în organism și concentrat în măduvă, nu se observă nici o influență asupra limfocitelor, ci numai o scădere a leucocitelor. Este suficientă administrarea a 3 injecții de preparat de fosfor radioactiv pentru ca după 45—60 de zile numărul leucocitelor să scadă de la 200 000 la cifra normală; timp de 2 ani nu au fost observate recidive la astfel de cazuri.

De altfel, fosforul radioactiv prezintă marele avantaj al unei aplicări simple și accesibile, nu dă boala actinică și este suportat bine de bolnavi.

Sub formă de fosfat de crom, fosforul radioactiv a fost aplicat în tumorile ficatului și țesutului reticulo-histiocitar.

Iodul radioactiv a format obiectul preocupărilor endocrinologilor. S-au făcut experiențe pentru determinarea iodului radioactiv în glanda tiroidă. În acest scop s-a administrat bolnavului o anumită cantitate de iod marcat și apoi s-a aplicat în dreptul glandei tiroide un contor Geiger-Müller. Astfel s-a putut studia dinamica metabolismului iodului în organism. S-a stabilit că iodul introdus pe această cale se depune în tiroidă sau se elimină prin urină.

Iodul radioactiv I_{53}^{131} are o largă aplicație în medicină, datorită fixării sale electivă, în mare concentrație, în glanda tiroidă. S-a putut clarifica modul cum glanda tiroidă sintetizează din iod și un aminoacid hormonii diiodotirozina și tiroxina.

Glanda tiroidă fixează de 20—100 de ori mai mult iod decât celelalte organe, fixarea fiind cu atât mai intensă cu cât glanda este mai săracă în iod. În bolile tiroidei, această fixare este diferită la diversele tulburări funcționale. Fixarea este redusă în insuficiența tiroidiană și foarte intensă în boala lui Basedow.

La basedowieni se acumulează în tiroidă 30—70% din iodul radioactiv introdus, care reechilibrează funcția tiroidiană. Când glanda este inflamată, iodul nu se acumulează aici, ci numai pe țesuturi sănătoase. Astfel, iodul radioactiv este în același timp și un factor terapeutic și un adjuvant în diagnostic.

Fixarea inegală a iodului în tiroidă s-a putut demonstra cu ajutorul autoradiografiilor. Aplicarea iodului radioactiv folosește la diagnosticul metastazelor unui cancer tiroidian.

Cercetările făcute cu ajutorul stronțului radioactiv au arătat că acesta poate înlocui calciul din oase. De aceea, în caz de sarcom al oaselor se introduce în organism stronțiu radioactiv.

Unii izotopi radioactivi, cum ar fi radiocobaltul și radiosodiul, s-au dovedit deosebit de eficace în tratamentul cancerului.

Radiosodiul Na_{11}^{24} ($T = 14,8$ ore) a fost obținut prin dezagregarea β , iradiind sarea de bucătărie cu deutoni; acest izotop tinde să înlocuiască substanțele radioactive naturale în tratamentul cancerului. Datorită dezintegrării rapide prin transformare în magneziu neradioactiv, sodiul radioactiv poate fi introdus direct în organism fără primejdia de a exercita o acțiune vătămătoare.

Cobaltul radioactiv Co_{27}^{60} se poate obține relativ ușor, are perioada de înjumătățire lungă (5 ani) și emite radiații care permit înlocuirea radiului. În multe centre au fost puse în funcțiune aparate cu cobalt radioactiv. Acest izotop, putând fi obținut în cantități mari, poate fi distribuit pretutindeni.

Experiența Institutului oncologic „P. A. Hertzen” din U.R.S.S. în epoca 1944 — 1954, în ce privește folosirea cobaltului radioactiv pentru telera-dioterapie, arată că acest izotop radioactiv poate înlocui cu succes substanțele radioactive naturale.

În țara noastră, studiile experimentale și aplicațiile izotopilor radioactivi în medicină se fac stăruitor la Institutul de Endocrinologie „Prof. Dr. C. I. Parhon” (Acad. prof. dr. St. Milcu), la Institutul de Oncologie (Acad. prof. dr. V. V. Mirza), ș. a.



BIBLIOGRAFIE

- ACADEMIA R.P.R. — Aplicațiile pașnice ale energiei atomice, Editura Academiei R.P.R., București, 1955.
- ACADEMIA ROMÂNĂ — L'oeuvre scientifique de Fr. J. Rainer (II. Structure fonctionnelle), Imprimeria Națională, București, 1945.
- ANDREEV I. N., DZIUBENKO M. S. — Fizica v sovremennoi meditsine, Medghiz, Leningrad, 1953.
- ANDREEV L. A., BIKOV K. M., DELOV V. E., KONRADI G. P., PODKOPAEV N. A., VLADIMIROV G. E. — Manual de fiziologie, Editura de stat, București, 1950 (traducere).
- ANDREEV N. N., RJEVKIN S. N., GORELIK G. S., RED. PAPALEXI N. D. — Curs de fizică, vol. I, Editura tehnică, București, 1951 (traducere).
- ARRHENIUS SVANTE — Lehrbuch der Electrochemie, J. A. Barth Verl. Leipzig, 1920.
- ARTIBIȘEV S. A. — Kurs Fiziki Studentov Medicov., Medghiz, Moscova-Leningrad, 1953.
- BĂDĂRAU EUGEN — Introducere în acustică, Editura Academiei R.P.R., București, 1953.
- Realizări noi în ultraacustică, Editura tehnică, București, 1955.
- BAIDA L. I. — Curs general de măsurări electrice, Editura energetică de stat, București, 1955 (traducere).
- BAIER W., DOERNER E. — Die Physik in der Biologie und Medizin, Georg Thieme Verlag, Leipzig, 1954.
- Ultraschall, Georg Thieme Verlag, Leipzig, 1954.
- BAINGLASS S. — Fizică medicală (curs litogr.), București 1943.
- BAINGLASS S., GHERGHINESCU ȘT., HERȘCOVICI R., NIȚESCU N., MUNTEANU E., RAICU V. — Modificarea ionoforozei biologice prin iradiere cu raze UV și IR. A doua sesiune științifică a Institutului de medicină și farmacie, București, publ. I.M.F., București, 1956.
- BAINGLASS S., GHERGHINESCU ȘT., NIȚESCU N., HERȘCOVICI R. — Acțiunea razelor ultraviolete asupra unor compuși biologici. Sesiunea științifică (I) a Institutului medico-farmaceutic București, publ. I.M.F., București, 1954.
- BAINGLASS S., GHERGHINESCU ȘT., VELEA ȘT., CUNESCU VL., RAICU V. — Inregistrarea și reproducerea magneto-electrică a zgomotelor cardiace și respiratorii. A doua sesiune științifică a Institutului medico-farmaceutic București, public. I.M.F., București, 1956.
- BAINGLASS S., NIȚESCU N., ROSENBLATT D. — Accidentele produse de electricitate, Editura de stat pentru literatură științifică și didactică, București, 1951.
- BAINGLASS S., GHERGHINESCU ȘT., NIȚESCU N., HERȘCOVICI R., RAICU V., ROSENBLATT D. — Fizică medicală (curs litogr.), public. I.M.F., București, 1954.
- BĂRBULESCU N. — Curs de fizică medicală, Editura Universit., Cluj, 1936.
- Elemente de electricitate biologică, Editura de stat, București, 1949.
- BĂRBULESCU N., BAINGLASS S. — Determinarea maselor macromoleculare prin metoda echilibrului statistic, *Buletinul științific al Academiei R. P.R.* (matemat., fizică, chimie), ianuarie 1950, t. II, nr. 11.
- BATES L. F. — Modern Magnetism, Cambridge, 1951.
- BELINSKI S. I. — Termoficarea și centralele electrice de termoficare, Editura energetică de stat, București, 1954 (traducere).
- BOUTARIC A. — Les colloïdes et l'état colloïdal, Libr. Félix Alcan, Paris, 1931.
- BREMER FRÉDÉRIC — L'activité électrique de l'écorce cérébrale, Ed. Hermann, Paris, 1938.

- KIREEV V. A. — Curs de chimie fizică, Editura tehnică, București, 1954 (traducere).
- KOHLRAUSCH F. — Praktische Physik, B. G. Teubner Verlag, Leipzig Berlin, 1943.
- KONAȘINSKI D. A., TURLIGHIN E. I. — Introducere în tehnica frecvențelor ultra-înalte, Editura energetică de stat, București, 1933 (traducere).
- KRASILNIKOV V. A. — Zvukovye volny v vozduhe, vode i tverdykh telah, Gosud. izdatel'svo tekh.-teoreticheskoi literat., Moscova, 1954.
- KREINDLER A. — Epilepsia, Cercetări clinice și experimentale, Editura Academiei R.P.R., București, 1955.
- KREINDLER A., VOICULESCU V., BROȘTEANU R., VOINESCU I., NEȘTIANU V. — Ritmul în pieptene, Contribuții la studiul activității bio-electrice a creierului în cursul crizei de epilepsie, *Studii și cercetări de neurologie*, Academia R.P.R., 1956, nr. 1, p. 33.
- KREMMER J., TISELIUS A. — *Biochemische Zeitschrift*, 1950, vol. 320, p. 273.
- KRONGAUZ A. N. — Dozimetrîi dlia rentgenovîkh i gama-lucei, Medghiz, Moscova, 1953.
- KUZNETOV A. I. — Tehnica securității în instalațiile electrice, Editura tehnică, București, 1952 (traducere).
- LANDSBERG S. G. — Optica, Editura tehnică București, 1951 (traducere).
- LANGERON M. — Précis de microscopie, Ed. Masson, Paris, 1942.
- LECHER E. — Lehrbuch der Physik für Mediziner. Biologen und Psychologen, ed. VI, B. G. Teubner Verl., Leipzig, 1930.
- LECOMTE DE NOÛY P. — Méthodes physiques en biologie et médecine, Ed. Hermann, Paris, 1933.
- LENIN V. I. — Materialism și empiriocriticism, Editura Partidului Muncitoresc Român, București, 1948 (traducere).
- LEVICI V. G. — Introducere în fizica statistică, Editura tehnică, București, 1954 (traducere).
- LITVIN A. M. — Bazele teoretice ale termotehnicii. Termodinamica și teoria transmiterii căldurii, Editura energetică de stat, București, 1952 (traducere).
- LIVENTEV N. M. — Electro-mădișnscaia aparatura, Medghiz, Moscova, 1955.
- LOBEL I. — Electrocardiografia. Bazele teoretice și practice, Editura medicală, București, 1956.
- LOMONOSOV M. V. — Lucrări științifice alese, Editura Academiei R.P.R., București, 1951.
- LUGOVSKOI B. I. — Iluminatul fluorescent, Editura energetică de stat, București, 1953 (traducere).
- MACHEBOEUF M. A. — Techniques pratiques pour l'étude des protéides et de divers biocolloïdes par l'électrophorèse (in Techniques de laboratoire de J. Loiseleur s. a.), Ed. Masson, Paris, 1947.
- MANOLESCU D., MIRON S. MIRON — Curs de oftalmologie, public. I.M.F., București, 1955.
- MARINESCU G., SAGER O., KREINDLER A. — Etudes électro-encéphalographiques E.E.G. du chat et du cobaye nouveau-nés, *Bullet. Acad. Médecine*, Paris, 1936, t. 115, p. 873.
- MARINOV M., ALEXIU G., SOLOMON Z. s. a. — Valoarea diagnostică a microradiografiei. Eficiența acestora în comparație cu filmul standard și radiosopia, *Revista științelor medicale (Medicina internă)*, 1952, an. IV, nr. 8.
- MAZEL' C. B. — Redresori și stabilizatori de tensiune, Editura energetică de stat, București, 1953 (traducere).
- MELENTIEV L. A. — Termoficarea, Editura energetică de stat, București, 1953 (traducere).
- MEZINCESCU M. D., POPESCU-ȘTEFĂNESCU A. — Fluorometru fotoelectric de construcție simplă. A doua sesiune științifică a Institutului de medicină și farmacie, public. I.M.F., București, 1956.]
- MICHAILESCU C. — Curs de fizică biologică (litogr.) București, 1939.
- MISCENKO I. P. — Influența razelor ultraviolete asupra spectriilor de absorbție ale aminoacizilor, *Biochimia*, 1952, nr. 1. (traducere I.S.R.S.).
- MUROMTSEV V. V. — Instalații de amplificare și electroacustică, Editura energetică de stat, București, 1944 (traducere).
- NAHMIAS M. E. — Le cyclotron, Ed. Revue d'Optique, Paris, 1945.
- NEGRU DIMITRIE — Radiologie medicală (noțiuni pregătitoare și tehnica generală), Edit. Universit., Cluj, 1934.
- Radiodiagnostic clinic, Ed. H. Welther, Sibiu, 1944.
- Radioterapie clinică, Ed. Cartea Românească, Cluj, 1946.
- NEKRASOV B. V. — Curs de chimie generală, ediția V, Editura tehnică, București, 1955 (traducere).

- NITEȘCU I. I., RUDEANU A. — C. R. Soc. de biologie, 9. VI. 1934, tome CXVI, pag. 472.
- PEROVICI C. — Introducere în polarografie, Editura tehnică, București, 1956.
- POPESCU I. G. — Curs de fizică farmaceutică, public. I. M.F., București, 1956.
- POPOV V. S., MANSUROV N. N., NIKOLAEV S. A. — Electrotehnica, Editura energetică de stat, București, 1954 (traducere).
- PROCA G. — Sîngele. Circulația, public. I.M.F., București, 1955.
- RIDER J. F., USLAN S. D. — Encyclopedia on cathode-ray oscilloscopes and their uses, J. Rider Publish., New-York, 1955.
- RIGA I. TH. ș. a. — Travaux d'anatomie à la mémoire du prof Fr. J. Rainer, Imprimeria Națională, București, 1947.
- ROMADIN V. P. — Problemi iadernoi energhetiki. Teploenergetika, 1955, nr. 12.
- SAIDMAN J. — Les sources des rayons ultraviolets, Ed. Doin, Paris 1939.
- Les sources des rayons infrarouges et leur utilisation en pratique journalière, Ed. Doin, Paris, 1941.
- SANIELEVICI S. ALEX. — Radioactivitatea. Fenomene și legi generale (I), Editura Academiei R.P.R., București, 1956.
- SIGALAS C., WANGERMEZ C. — Précis de Physique appliquée à la Pharmacie, Ed. Maloine, Paris, 1939.
- SIROTINSKI L. I. ș. a. — Tehnica tensiunilor înalte, Editura energetică de stat, București, 1954 (traducere).
- ȘMELEV V. K. — Aparate Röntgen, Editura energetică de stat, București, 1955 (traducere).
- ȘPOLSKI E. V. — Fizica atomică, Editura tehnică, București, 1955 (traducere).
- STRELCOV S. P. — Introducere în teoria oscilațiilor, Editura tehnică, București, 1954 (traducere).
- STRNAD JULIUS — Elektroskustika, Tehniko-Vědecké Vydavatelství, Praha, 1951.
- STROHL ANDRÉ — Précis de Physique Médicale, Ed. Masson, Paris, 1946.
- STROHL A. ș. a. — Leçons de physico-chimie, Ed. Masson, Paris, 1930.
- SUHAREV V. I. — Fizioterapia i kurortoterapia kojih boleznei, Medghiz, Moscova, 1953.
- SUȘKIN N. G. — Microscopul electronic, Editura tehnică, București, 1952 (traducere).
- SVEDBERG THE, PEDERSEN K. O. — Die Ultrazentrifuge, J. A. Barth Verl., Dresden-Leipzig, 1940.
- SVENSSON HARRY — UPSALA — Direkte photographische Aufnahme der Electrophoresis-Diagramme, Koll. Z., 1939, Bd. 87, p. 181.
- TAILLANDIER M. — Spectrophotométrie et photométrie appliquée à l'analyse biologique, Ed. Maloine, Paris, 1931.
- TERNISIEN JEAN — La micrographie électronique, Microtecnic, Lausanne, 1950, nr. 3-4.
- TIAGUNOV G. A. — Tuburi electronice, Editura tehnică, București, 1951 (traducere).
- TISSÉLIUS A. — Koll. Z., 1938, Bd. 83, p. 122.
- TURCHINI S. — Travaux pratiques de physique médicale, Ed. Masson, Paris, 1930.
- VANDERVAEL FR. — Analyse des mouvements du corps humain, Ed. Maloine, Paris-Liège, 1944.
- VAVILOV S. I. — Microstructura luminii, Editura Academiei R.P.R., București, 1953, (traducere).
- Ochiul și soarele, Cartea rusă, București, 1953 (traducere).
- Sobranie socinenii, Ed. Akademii Nauk S.S.S.R., Moscova, 1952.
- WEISS G. — Précis de Physique Biologique, Ed. Masson, Paris, 1922.
- WIEDEMANN E. — L'électrophorèse (son rôle dans la recherche biologique et médicale), Revue d'Hématologie, 1948, t. 3, nr. 3, p. 251.
- WOOD VINEL G. — Primary batteries, J. Wiley Publish., New-York, 1950.
- Storages bateries, J. Wiley Publish., New-York, 1954.

C U P R I N S U L

	<u>Pag.</u>
INTRODUCERE.....	5
I. Fizica medicală	5
II. Legile fizicii.....	6
III. Măsurarea mărimilor fizice	7
1. Mărimi fundamentale și mărimi derivate	7
2. Unități de măsură	8
3. Precizia măsurătorilor	10
4. Erorile de măsurare	10
IV. Reprezentarea rezultatelor măsurătorilor	11
MECANICA	15
I. Bazele fizice ale mecanicii	15
II. Mecanica corpului rigid	16
A. Cinematica	16
1. Mișcarea uniformă	17
2. Mișcarea variată	18
3. Mișcarea circulară uniformă	20
B. Relativitatea	22
C. Cinematica umană	23
1. Metoda cronofotografică	23
2. Mișcarea membrilor inferioare	24
3. Legile pașilor	27
D. Dinamica	27
1. Prima lege a dinamicii. Inerția	27
2. Legea a doua a dinamicii. Forța	28
3. Legea a treia a dinamicii. Acțiune și reacție	29
4. Forțe	29
5. Măsurarea forțelor. Dinamometrie medicală	29
6. Compunerea și descompunerea forțelor	32
7. Gravitatea	35
8. Centrul de greutate al corpului uman	39
9. Acțiunea gravitației asupra organismelor	41
10. Forța centripetă și forța centrifugă	42
11. Aplicațiile forței centrifuge	44
E. Lucrul mecanic	47
F. Puterea	49
G. Energia	50
H. Elemente de dinamică umană	52
I. Statica	55
1. Condițiile de echilibru pentru corpuri suspendate	56
2. Condițiile de echilibru pentru corpurile sprijinite pe un plan	56

	Pag.
J. Echilibrul corpului omenesc	57
1. Echilibrul corpului în poziție verticală	57
2. Echilibrul corpului în ședere	59
3. Echilibrul corpului în poziție culcată	60
K. Pîrghiile	60
1. Legea pîrghiilor	61
2. Pîrghiile întîlnite în studiul și practica medicinei	61
3. Pîrghii de tip special	67
L. Mecanoterapia	74
1. Aparate medico-mecanice pentru mișcări active	75
2. Aparate pentru mișcări pasive	76
3. Aparate pentru mișcări mixte	77
4. Aparate ortopedice	77
5. Aparate medico-mecanice profilactice	77
M. Elasticitatea	78
1. Corpuri rigide și corpuri moi	78
2. Deformația elastică	78
3. Modulul de elasticitate	79
4. Forța elastică	80
5. Utilitatea elasticității	81
6. Rolul elasticității în medicină	82
N. Rezistența	83
1. Rezistența la tracțiune	83
2. Rezistența la compresiune	83
3. Răsucirea (torsiunea)	85
4. Forfecarea	86
5. Frecarea	86
O. Elasticitatea elementelor anatomice	89
1. Rezistența oaselor	89
2. Frecarea în organismul animal	93
III. Mecanica corpului lichid	93
A. Hidrostatica	93
1. Suprafața liberă a unui lichid	93
2. Presiunea hidrostatică	94
3. Principiul lui Pascal	94
4. Principiul lui Arhimede	96
5. Densimetrie	97
B. Hidrodinamica	105
1. Viteza de curgere	105
2. Curgerea printr-un tub vertical	106
3. Curgerea printr-un orificiu lateral	107
4. Curgerea prin tuburi orizontale rigide	108
5. Curgerea prin tuburi elastice	110
C. Hemodinamica	110
1. Mecanica inimii	110
2. Mecanica vaselor sanguine	113
IV. Mecanica gazelor	122
A. Însușirile generale ale gazelor	122
B. Teoria cinetică moleculară a gazelor	124
C. Atmosfera	126
1. Grosimea atmosferei	126
2. Structura atmosferei	126
3. Presiunea atmosferică	127

	Pag.
D. Legile gazelor.....	128
1. Legea Boyle-Mariotte	129
2. Legea lui Gay-Lussac.....	129
3. Legea lui Avogadro	130
4. Ecuația de stare a gazelor perfecte	130
5. Legea lui Dalton.....	132
6. Legea lui Henry.....	133
7. Densitatea gazelor	135
E. Mecanica respirației	135
1. Fenomenele mecanice în inspirație și expirație	136
2. Mecanica gazelor respiratorii	137
3. Ventilația pulmonară.....	140
4. Respirația în condiții anormale	143
5. Rolul vaporilor de apă.....	145
6. Pneumotoraxul	145
F. Aparate pneumatice de clinică și laborator.....	146
TERMODINAMICA	149
I. Bazele teoretice ale fenomenului termic	149
A. Fenomenele termice	149
B. Teoriile despre natura căldurii	149
1. Teoria idealistă a căldurii	149
2. Teoria mecanică a căldurii	150
3. Teoria cinetică moleculară	150
II. Măsurarea temperaturii	152
A. Propagarea căldurii	152
1. Propagarea căldurii	152
2. Efecte ale căldurii. Dilatarea	152
B. Termometria	154
1. Temperatura	154
2. Scările termometrice	154
3. Termometre construite pe baza fenomenului de dilatare.....	156
4. Termometrul cu gaz.....	156
5. Corpuri termometrice.....	157
6. Calitățile termometrelor	157
7. Termometrele cu mercur	158
8. Termometrele cu scară redusă.....	158
9. Termometrele bazate pe dilatarea corpurilor solide	161
10. Termometrul termoelectric	162
11. Termometre cu rezistență.....	163
12. Piometrul optic	164
III. Căldura animală	164
A. Originea căldurii animale	164
B. Temperatura corpului omenesc	165
C. Termoreglarea la homeoterme.....	166
D. Determinarea pierderilor de căldură	168
1. Conductibilitatea termică	168
2. Transmiterea căldurii prin radiație	169
3. Răcirea prin radiație	170
4. Aparat de măsurat pierderea de căldură	170

	Pag.
E. Metode pentru un regim optim al căldurii animale.....	171
1. Hainele.....	172
2. Zona de confort.....	172
3. Aerul condiționat	172
IV. Calorimetria	173
A. Noțiuni recapitulative de calorimetrie generală	173
1. Cantitatea de căldură	173
2. Unități calorimetrice.....	173
3. Căldura specifică.....	174
4. Metodele calorimetrice	174
B. Calorimetria biologică.....	176
1. Principiul calorimetrului biologic.....	177
2. Cîteva tipuri de calorimetre biologice	177
3. Determinări calorimetrice în termogeneză	182
4. Metabolismul bazal	184
5. Valoarea energetică a alimentelor	186
V. Transformările energiei termice.....	188
A. Transformările termice.....	188
1. Transformarea izotermă.....	189
2. Transformarea izobară	189
3. Transformarea izocoră	189
4. Transformarea adiabatică	190
5. Transformarea politropă	190
B. Legile termodinamicii.....	190
1. Prima lege a termodinamicii	191
2. Legea a doua a termodinamicii.....	192
VI. Etuve, termostate, autoclave	194
A. Etuvele	194
1. Etuva de laborator	194
2. Etuva industrială	195
3. Cuptorul lui Pasteur.....	195
B. Autoclave	195
1. Autoclavul pentru sterilizare.....	196
2. Autoclavul pentru dezinfecție.....	196
C. Termostate	197
1. Termostate de laborator	197
2. Incubatoare	198
3. Termostatele incubatoare pentru copii imaturi	198
VII. Frigul	198
VIII. Higrometria	200
A. Metodele de determinare a umidității aerului	200
1. Umiditatea absolută.....	200
2. Umiditatea relativă	201
B. Higrometre	202
1. Higrometrul cu condensare	202
2. Higrometrul cu fir de păr	203
3. Psihrometrul	204

	Pag.
STUDIUL FENOMENELOR MOLECULARE	206
I. Fenomene moleculare	206
II. Mecanica moleculară	207
A. Mișcarea browniană	207
B. Coeziunea	208
C. Adeziunea	209
1. Adeziunea în diferite sisteme	209
2. Ascensiunea și depresiunea lichidelor în vase	209
D. Tensiunea superficială	210
1. Fenomene de suprafață	210
2. Cauzele tensiunii superficiale	211
3. Influența gradului de dispersie	212
4. Dependența tensiunii superficiale de temperatură	213
5. Determinarea tensiunii superficiale	213
6. Tensioactivitatea	216
7. Tensiunea superficială a lichidelor din organism	217
8. Aplicații practice	218
E. Adsorbția	218
1. Adsorbția în sistemul solid/gaz	218
2. Sistemul lichid/gaz	219
3. Sistemul lichid/lichid	219
4. Sistemul solid/lichid	220
F. Capilaritatea	220
1. Statica capilarelor	221
2. Dinamica tuburilor capilare	223
G. Vîscozitatea	224
1. Coeficientul de vîscozitate	224
2. Vîscozimetria	225
3. Vîscozitatea lichidelor din organism	229
H. Difuziunea	230
1. Difuziunea gazelor	230
2. Difuziunea lichidelor	232
I. Osmoza	233
1. Endosmoza și exosmoza	233
2. Presiunea osmotică	234
3. Soluții izotonice	240
4. Izotonia în biologie	241
5. Osmoza în biologie	243
K. Dispersii	244
1. Suspensiile	245
2. Starea coloidală	250
3. Soluțiile	277
ACUSTICA	280
I. Mișcarea oscilatoare armonică	280
A. Mișcarea periodică continuă	280
B. Mișcarea periodică alternativă	281
C. Compunerea oscilațiilor armonice	283
1. Compunerea oscilațiilor paralele	283
2. Compunerea oscilațiilor perpendiculare	283
3. Oscilații paralele cu perioade puțin diferite	284

	Pag.
4. Compunerea mișcărilor oscilatorii armonice cu pulsații diferite	285
5. Oscilații neamortizate și oscilații amortizate	285
6. Energia mișcării oscilatorii armonice	286
D. Propagarea oscilațiilor	287
1. Unde longitudinale și unde transversale	287
2. Unde sferice	288
3. Difracția	288
4. Interferența undelor	289
5. Unde staționare	291
6. Efectul Doppler	292
II. Sunetul	294
A. Viteza sunetului	294
B. Reflectarea sunetului	296
C. Caracteristicile sunetului	296
1. Înălțimea	296
2. Intensitatea	297
3. Timbrul	298
4. Rezonanța	298
D. Difracția sunetului	299
E. Absorbția sunetului	300
III. Elemente de electroacustică	301
A. Înregistrarea și reproducerea sunetelor	301
1. Înscrierea grafică a sunetelor	302
2. Înregistrarea și reproducerea mecanică a sunetului	302
3. Imprimarea și reproducția electromecanică a sunetelor	304
4. Filmul sonor	305
5. Magnetofonul	308
B. Alte aparate electroacustice	310
1. Laringofonul	310
2. Aparate electroacustice de uz general	310
IV. Ultrasunetele	310
A. Producerea ultrasunetelor	311
1. Ultrasunete în natură	311
2. Producerea mecanică a ultrasunetelor	311
3. Generatorul piezoelectric	312
4. Generatorul magnetostrictiv	316
B. Efectele ultrasunetelor	316
1. Proprietățile ultrasunetelor	316
2. Aplicațiile ultrasunetelor	317
V. Acustica fiziologică	324
A. Audiția	324
1. Urechea	324
2. Transmiterea mecanică a sunetului	326
3. Teoriile audiției	326
4. Caracterele fiziologice ale sunetului	328
5. Audiometrie	331
6. Zgomotele	332
B. Fonația	333
1. Organele fonației	333
2. Teoriile fonației	334
3. Vocea	335

	Pag.
C. Metode acustice medicale.....	336
OPTICA	339
I. Lumina	339
A. Izvoare de lumină.....	339
1. Izvoare luminoase și izvoare luminate	339
2. Viteza luminii.....	340
B. Teoriile despre lumină.....	340
C. Presiunea luminii	343
D. Radiația luminoasă	344
1. Regula lui Prevost.....	345
2. Legea lui Kirchhoff	345
3. Legea Stefan-Boltzmann	347
4. Legea lui Wien	348
E. Acțiunea biologică a luminii.....	349
1. Influența radiațiilor vizibile	349
2. Fototerapia	350
3. Radiațiile infraroșii	351
4. Radiațiile ultraviolete	358
II. Noțiuni de fotometrie.....	365
A. Caracteristicile luminii	366
1. Fluxul luminos	366
2. Intensitatea	367
3. Iluminarea	368
4. Strălucirea	369
B. Metode fotometrice	371
1. Fotometrie subiectivă	371
2. Fotometrie obiectivă	373
C. Igiena iluminatului	376
1. Culoarea luminii.....	376
2. Iluminarea	376
D. Colorimetria.....	377
1. Principiul metodei colorimetrice absolute	377
2. Metoda relativă	377
3. Colorimetrie obiectivă	380
III. Optica geometrică	380
A. Legile opticii geometrice	381
1. Propagarea rectilinie a luminii	381
2. Legea independenței fasciculelor luminoase	384
3. Reflecția luminii	384
4. Refracția luminii	390
IV. Dispersia luminii.....	405
A. Aparat pentru cercetarea dispersiei luminii.....	406
1. Spectroscopul	406
2. Spectroscop cu privire directă	407
3. Monocromatorul.....	407
B. Spectrele	408
1. Spectre de emisie.....	408
2. Spectre de absorbție.....	408

	Pag.
C. Spectroscopia	409
1. Spectroscopia medicală	409
2. Aplicații biologice	411
V. Lumina polarizată	411
A. Polarizarea luminii	411
1. Polarizarea prin reflecție	412
2. Polarizarea prin refracție	414
3. Polarizarea rotatoare	420
B. Aparate pentru măsurarea unghiului de rotație	421
1. Polarimetrul cu penumbra	421
2. Polarimetrul cu compensator	422
3. Polarimetrul cu citire directă	423
C. Polarimetrie biologică și medicală	424
VI. Interferența	424
A. Interferența oscilațiilor	424
B. Interferența undelor	425
1. Dispozitive pentru realizarea undelor coerente	426
2. Colorarea lamelor subțiri	427
3. Inelele lui Newton	428
4. Interferometre	429
VII. Difrakția	431
VIII. Microscopia	434
A. Microscopul simplu	434
B. Microscopul compus	436
1. Optica microscopului	436
2. Puterea rezolutivă a microscopului	438
C. Microscopie de tip special	441
1. Microscopul cu lumină ultravioletă	441
2. Microscopul cu interferență	441
3. Microscopul cu reflecție	442
4. Microscopul polarizant	442
5. Microscopul proiector	442
6. Dispozitive pentru desenarea imaginilor microscopice	443
7. Microscopul pentru microfotografii	443
8. Microscopul cu contrast de fază	444
D. Ultramicroscopia	445
1. Principiul metodei	445
2. Aparatură pentru ultramicroscopie	446
3. Vizibilitatea la ultramicroscop	448
IX. Optica fiziologică	448
A. Ochiul	448
1. Ochiul ca sistem optic	450
2. Ochiul redus	450
3. Acțiunea luminii asupra retinei	451
4. Caracterile optice ale dispozitivului ocular	452
B. Perceperea luminii	453
1. Vederea diurnă și vederea crepusculară	453
2. Vederea culorilor	455
3. Mecanismul adaptării vizuale	456
4. Senzația luminoasă a culorilor	456
5. Orbirea	457

	Pag.
C. Acomodarea.....	457
1. Ipotezele asupra acomodării.....	459
2. Teoriile acomodării	460
D. Ametropiile.....	462
1. Miopia	462
2. Hipermetropia	463
3. Presbiția	463
4. Astigmatismul.....	463
5. Corectarea ametropiilor.....	465
E. Metode de examinare a retinei	469
1. Oftalmoscopul.....	469
2. Fotografierea retinei	471
ELECTRICITATEA	472
I. Electricitatea statică	473
A. Noțiuni fundamentale.....	473
1. Sarcini electrice	473
2. Conductori, semiconductori, dielectrics	474
3. Legea lui Coulomb.....	475
4. Câmpul electrostatic	475
5. Potențialul electric.....	476
6. Capacitatea electrică.....	477
B. Electricitatea statică în medicină.....	480
1. Mașina electrostatică medicală	480
2. Aplicațiile medicale ale electricității statice.....	482
II. Curentul continuu.....	485
A. Noțiuni fundamentale	485
1. Curentul electric	485
2. Legea lui Ohm	485
3. Legea curenților derivați	487
B. Generatori de curent continuu	488
1. Generatorii chimici de curent electric.....	488
2. Elemente termoelectrice	498
3. Efectul termoelectronic.....	500
C. Electrogenza biologică.....	502
D. Efectele fizico-chimice ale curentului continuu	505
1. Electroliza	505
2. Electroliza biologică.....	507
3. Aplicațiile medicale ale electrolizei	508
4. Pătrunderea electrolitică a substanțelor în organism.....	508
5. Ionoterapia electrică	510
E. Câmpul magnetic al curenților	512
1. Câmpul magnetic.....	512
2. Magneți permanenți și magneți temporari	514
3. Aplicații generale și medicale ale magneților.....	515
F. Efectele termice ale curentului electric	522
1. Legea Joule-Lenz	522
2. Încălzirea electrică	522
3. Galvanocautere	523
G. Efectul luminos al curentului electric.....	523

	Pag.
H. Noțiuni de electricitate fiziologică	526
1. Începuturile studiului electricității fiziologice	527
2. Curenți electrotonici	528
3. Stimularea electrică a nervilor și a mușchilor	529
4. Cronaxia	531
I. Aplicațiile medicale ale curentului galvanic	532
1. Instalația medicală de curent galvanic	532
2. Electrodiagnosticul	535
3. Tratamentul galvanic	537
III. Curentul alternativ	540
A. Curenții de inducție	540
1. Inducția electromagnetică	540
2. Legile inducției	540
3. Autoinducția	541
4. Curenții turbionari (Foucault)	542
B. Producerea curenților alternativi	542
1. Generatorii electrici de inducție	542
2. Caracteristicile curentului alternativ	543
3. Acțiunea autoinducției și a capacității	543
4. Curent monofazat și curent trifazat	545
C. Transformarea curentului	546
D. Aplicațiile medicale ale curentului alternativ	548
1. Bobina faradică	548
2. Acțiunea curenților faradici și galvano-faradici asupra organismului	550
E. Redresori	551
1. Grupuri convertizoare	551
2. Redresori cu semiconductori	551
3. Redresori ionici	553
4. Redresori electronici	554
F. Metode de măsurare în electricitatea biologică	556
1. Puntea cu rezistențe	556
2. Puntea Wheatstone	557
3. Metoda compensației (Poggendorff)	558
4. Puntea Kohlrausch	560
5. Determinarea potențiometrică a pH-ului	562
IV. Curenți de înaltă frecvență	565
A. Circuitul oscilant	565
B. Generatori de înaltă frecvență cu oscilații amortizate	567
1. Generatorul Tesla	567
2. Generatorul d'Arsonval	568
3. Generatori de înaltă frecvență cu transformator	569
C. Generatori cu oscilații întreținute	570
1. Oscilații electrice întreținute	570
2. Trioda	571
3. Generatorul cu triodă	571
4. Generatorul medical de unde scurte	572
5. Oscilații de frecvență foarte înaltă	572
D. Proprietățile curenților de înaltă frecvență	573
1. Însușiri caracteristice	573
2. Curenții de înaltă frecvență și înaltă tensiune	574
3. Alte particularități ale curenților de înaltă frecvență	575
4. Aplicațiile generale ale curenților de înaltă frecvență	575

	Pag.
E. Aplicarea medicală a curenților de înaltă frecvență	576
1. Acțiunea fiziologică a curenților de înaltă frecvență	576
2. Aplicațiile curenților de înaltă frecvență în medicină	578
V. Accidentele produse de electricitate	586
A. Caracteristicile curentului primejdios	587
1. Natura curentului	587
2. Rolul tensiunii	588
3. Intensitatea curentului	588
4. Rezistența electrică a corpului omenesc	588
5. Durata contactului	590
6. Drumul curentului	590
B. Prevenirea accidentelor electrice	591
C. Tratamentul electrocutațiilor	592
1. Măsuri urgente	592
2. Respirația artificială	593
3. Tratamentul medical al electrocutațiilor	593
NOȚIUNI DE FIZICĂ ATOMICĂ	594
I. Structura atomului	594
A. Atomismul clasic	594
B. Atomul în lumina noilor concepții	594
1. Clasificarea periodică a lui Mendeleev	595
2. Modelul atomic al lui Rutherford	596
3. Teoria lui Bohr	599
4. Electronii	600
5. Nucleul	601
6. Forțele nucleare	603
II. Efectul fotoelectric	605
A. Fenomenul fotoelectric	605
1. Experiențele lui Stoletov	605
2. Legile efectului fotoelectric	606
B. Celula fotoelectrică	608
1. Celula fotoelectrică cu efect extern	608
2. Celula fotoelectrică cu efect intern	611
3. Celula fotoelectrică cu strat de blocare	611
4. Sensibilitatea celulelor fotoelectrice	612
5. Aplicațiile celulei fotoelectrice	614
III. Luminiscenta	614
A. Fenomenul de luminiscentă	614
B. Luminiscenta temporară	616
1. Triboluminiscenta	616
2. Cristaloluminiscenta	617
3. Termoluminiscenta și crioluminiscenta	617
4. Fotoluminiscenta (fluorescenta)	617
5. Electroluminiscenta	619
6. Galvanoluminiscenta	620
C. Luminiscenta de durată	620
1. Chemiluminiscenta	620
2. Bioluminiscenta	621
3. Fosforii cristalini	622
D. Aplicațiile fluorescenței	622
1. Fluorescenta biologică	623
2. Fluoroscopia	623
3. Iluminatul fluorescent	624

	Pag.
IV. Studiul descărcărilor electrice în gaze rarefiate.....	628
A. Descărcările electrice în gaze	628
1. La presiunea normală	628
2. Descărcarea în gaze rarefiate	628
B. Razele catodice	632
1. Producerea razelor catodice.....	632
2. Proprietățile razelor catodice	633
3. Natura razelor catodice.....	633
4. Tuburi catodice	635
C. Razele anodice	640
V. Razele Röntgen	642
A. Bazele fizice ale radiologiei	642
1. Natura razelor Röntgen	643
2. Emisiunea razelor Röntgen.....	644
3. Însușirile razelor Röntgen	649
4. Absorbția razelor Röntgen	654
5. Ionizarea gazelor prin razele Röntgen.....	657
B. Tehnica producerii razelor Röntgen.....	658
1. Alimentarea în curent continuu	658
2. Utilizarea curentului alternativ pentru alimentarea instalației de radiologie	660
3. Generatori moderni de tensiune foarte înaltă.....	664
4. Tubul de raze X.....	665
C. Măsurători calitative și cantitative în radiologie	672
1. Determinarea calității razelor Röntgen	673
2. Măsurarea cantității razelor X (cantitometrie)	674
D. Radiologie medicală.....	677
1. Diagnosticul radiologic.....	678
2. Radioterapie	686
VI. Radioactivitatea	689
A. Substanțe cu radioactivitate naturală	689
1. Razele α	690
2. Razele β	691
3. Razele γ	692
4. Explicarea fenomenelor radioactive	694
5. Familii radioactive	697
6. Acțiunea biologică a radiațiilor radioactive	698
B. Radioactivitate artificială	700
1. Reacții nucleare.....	700
2. Aparatură acceleratoare	704
3. Metode de detecție a particulelor în fizica atomică	708
4. Izotopii radioactivi	719
Bibliografie	725

T. 2449

Redactor de carte: Dr. Al. George
Tehnoredactor: Petre Ion
Corector: Tudoran Dineta

Dat la cules 8.05.1956. Bun de tipar 29.10.1956. Format 70x100/16. Hirtie velină ilustrație de 80 gr./m.p. Tiraj 5000+100. Coli editoriale 65,78. Coli tipar 46,25+4 planșe A. 1072/1956. Pentru bibliotecile mari indicele de clasificare 53/61. Pentru bibliotecile mici 53 j61.

Tiparul executat sub com. nr. 723 la Combinatul Poligrafic Casa Științei „I. V. STALIN”, București — R.P.R.
Planșele executate la Întreprinderea Poligrafică Oradea.

umv. 188547